

Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext"

-

Ermittlungen, Analysen und Schlussfolgerungen

**Ein Beitrag zur Verminderung von Lernschwierigkeiten
im Biologieunterricht der Sekundarstufen
durch vermehrte Berücksichtigung von Schülervorstellungen
zu "Energie im biologischen Kontext"
in konstruktivistischer Lernumgebung**

Dissertation

**zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Didaktik der Naturwissenschaften (Dr. phil. nat.)**

**der Fakultät für Biologie
der Universität Bielefeld**

Joachim Burger

**Bielefeld
2001**

Vorwort

**Diese Arbeit ist ein Plädoyer
für einen
"energiebetonten"
und
"vorstellungsintensivierten",
somit
schülernahen
und deshalb
effektiven
Biologieunterricht.**

Übersicht über verwendete Abkürzungen

| Abkürzung | Begriff | Erläuterungen auf Seite |
|------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| GV | Grundvorstellung | 117f |
| Kf-Wert | Wert der Kontextflexibilität | 157 |
| KSA | Kurzfassungen der Schülerantworten | 156 |
| VG | Vorstellungsgebäude | 176f |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | EINLEITUNG | 1 |
| 1.1 | Das Problem: Mangelnder Kompetenzzuwachs bei Schülern im Biologieunterricht | 1 |
| 1.2 | Übergreifendes Ziel der Arbeit: Effizienzsteigerung des Biologieunterrichts | 2 |
| 1.3 | Zwei Lösungsansätze zur Effizienzsteigerung des Biologieunterrichts | 3 |
| 1.3.1 | Inhaltlicher Ansatz: Vermehrte Berücksichtigung der Thematik Energie im biologischen Kontext | 5 |
| 1.3.2 | Methodischer Ansatz: Vermehrte Berücksichtigung von Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" | 5 |
| 1.3.3 | Begründung zur Kombination des methodischen und inhaltlichen Ansatzes | 6 |
| 1.4 | Gliederung der Arbeit | 6 |
| | | |
| 2 | GRUNDLAGEN ZUM INHALTLICHEN ANSATZ: VERMEHRTE BERÜCKSICHTIGUNG DER THEMATIK ENERGIE IM BIOLOGISCHEN KONTEXT | 9 |
| 2.1 | Naturwissenschaftliche Grundlagen: Die Bedeutung des Wortes Energie unter besonderer Berücksichtigung biologischer Kontexte | 10 |
| 2.1.1 | Die unterschiedliche Bedeutung des Wortes Energie in verschiedenen Begriffssystemen | 10 |
| 2.1.2 | Allgemeine naturwissenschaftliche Kenntnisse zum Thema Energie | 13 |
| 2.1.2.1 | Fünf kennzeichnende Aspekte von Energie | 14 |
| 2.1.2.2 | Die Hauptsätze der Thermodynamik | 16 |
| 2.1.3 | Speziell für Biologie(unterricht) relevante Aspekte der Energie | 20 |
| 2.1.3.1 | Für biologische Prozesse wichtige Energieformen | 20 |
| 2.1.3.2 | Der globale Energiefluss und der Energiefluss der Biosphäre | 22 |
| 2.1.3.3 | Die Rolle der Energie bei der Aufrechterhaltung biologischer Systeme | 24 |
| 2.2 | Fachdidaktische Grundlagen: Überlegungen zur verstärkten Berücksichtigung der Thematik Energie im Biologieunterricht | 29 |
| 2.2.1 | Vier Argumentationsstränge zur Legitimation einer verstärkten Berücksichtigung der Thematik Energie im biologischen Kontext | 29 |
| 2.2.1.1 | Argumentationsstrang 1: Der Unterrichtsinhalt Energie hat eine Gesellschafts-, Fach- und Schülerrelevanz. | 29 |

| | | |
|------------|--|----|
| 2.2.1.2 | Argumentationsstrang 2: Die Relevanz der Energiethematik im Biologieunterricht leitet sich von der Rolle der Energie bei der historischen und zukünftigen Entwicklung des Lebens und der menschlichen Zivilisation ab. | 31 |
| 2.2.1.3 | Argumentationsstrang 3: Die Bedeutung des interdisziplinären Wissens über Energie steigt in Hinblick auf die ansteigende Menge des allgemein verfügbaren Wissens. | 35 |
| 2.2.1.4 | Argumentationsstrang 4: Eine vermehrte Berücksichtigung der Energiethematik hat positive Auswirkungen auf die inhaltliche Verknüpfung der naturwissenschaftlichen Fächer Physik, Chemie und Biologie und auf die Lernleistung der Schüler in diesen Fächern. | 36 |
| 2.2.2 | Analyse der aktuellen Richtlinien und Lehrpläne der Gesamtschule und des Gymnasiums in NRW in Hinblick auf die aktuelle Berücksichtigung und die beabsichtigte vermehrte Berücksichtigung der Thematik Energie | 38 |
| 2.2.2.1 | Das Thema Energie in den Lehrplänen der naturwissenschaftlichen Fächer | 38 |
| 2.2.2.2 | Beispiele für die vermehrte Berücksichtigung energetischer Aspekte im Biologieunterricht außerhalb der in den Lehrplänen genannten Fachgebiete | 43 |
| 3 | GRUNDLAGEN ZUM METHODISCHEN ANSATZ: VERMEHRTE BERÜCKSICHTIGUNG VON SCHÜLERVORSTELLUNGEN ZU "ENERGIE IM BIOLOGISCHEN KONTEXT" | 45 |
| 3.1 | Pädagogische Grundlagen: Die Bedeutung von Schülervorstellungen beim Lernen und Lehren aus konstruktivistischer Perspektive | 46 |
| 3.1.1 | Geschichtlicher Abriss und aktuelle Überlegungen zu der Idee, die Lernschwierigkeiten im Unterricht durch die intensivere Berücksichtigung von Schülervorstellungen zu mindern | 46 |
| 3.1.2 | Konstruktivismus und vier didaktisch relevante Kernaussagen dieser Wissenstheorie | 51 |
| 3.1.3 | Erwerb und Anwenden von Wissen sowie die Rolle der Vorstellungen bei diesen Prozessen aus konstruktivistischer Sicht | 61 |
| 3.1.3.1 | Bedeutungen der Begriffe "Vorstellung", "Vorwissen" und "Wissen" | 63 |
| 3.1.3.2 | Die besondere Bedeutung von Vorstellungen in der Lebenswelt | 65 |
| 3.1.3.3 | Grundlegende Erkenntnisse zum Lernen des Menschen: Vom Behaviorismus zum Konstruktivismus | 67 |
| 3.1.3.4 | Die Rolle des Vorwissens bei der Informationsverarbeitung des Menschen aus behavioristischer Sicht | 69 |
| 3.1.3.5 | Wissen ist netzwerkartig in Form kognitiver Schemata im Gedächtnis repräsentiert | 72 |
| 3.1.3.6 | Die Rolle des Vorwissens bei der Informationsverarbeitung des Menschen aus aktueller kognitionspsychologischer Sicht | 79 |
| 3.1.4 | Zusammenfassende Betrachtung über das Verständnis von Schülervorwissen | 86 |

| | | |
|------------|---|-----|
| 3.2 | Fachdidaktische Grundlagen: Planung und Durchführung von konstruktivistischem Unterricht auf der Grundlage von Schülervorstellungen | 91 |
| 3.2.1 | Konsequenzen zur methodischen und inhaltlichen Unterrichtsgestaltung aus den Überlegungen zum Konstruktivismus | 91 |
| 3.2.2 | Ausgangssituation und Ziele sowie grundlegende Voraussetzungen und Strategien der Unterrichtsgestaltung in Hinblick auf Schülervorstellungen und deren Änderung im Unterricht | 102 |
| 4 | ERMITTLUNG UND ANALYSE VON SCHÜLERVORSTELLUNGEN ZUM THEMA "ENERGIE IM BIOLOGISCHEN KONTEXT" | 112 |
| 4.1 | Stand der Forschung und sein Einfluss auf Ziele und Methoden der Studie | 112 |
| 4.2 | Übergreifende Ziele und Fragestellungen der Untersuchung | 114 |
| 4.2.1 | Inhalte, Auftrittshäufigkeiten und Kontextflexibilität der Schülervorstellungen | 115 |
| 4.2.2 | Abhängigkeit der Schülervorstellungen von unterrichtsrelevanten Faktoren | 115 |
| 4.2.3 | Grundvorstellungen als Ermittlungsziel | 117 |
| 4.3 | Methodisches Vorgehen | 119 |
| 4.4 | Voruntersuchung: Ermittlung des assoziativen Umfeldes des Ausdrucks Energie | 121 |
| 4.4.1 | Ziele und Fragestellungen der Voruntersuchung | 121 |
| 4.4.2 | Stand der Forschung zu Assoziationstests zum Thema Energie | 122 |
| 4.4.3 | Entwicklung des Untersuchungsdesigns für die Assoziationsbefragung | 123 |
| 4.4.4 | Durchführung der Voruntersuchung | 124 |
| 4.4.5 | Auswertung der Assoziationsbefragung | 124 |
| 4.4.6 | Darstellung der Ergebnisse der Assoziationsbefragung | 125 |
| 4.4.7 | Zusammenfassung der Ergebnisse der Assoziationsbefragung und Folgerungen für die Hauptuntersuchung | 138 |
| 4.5 | Hauptuntersuchung: Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" | 139 |
| 4.5.1 | Fragestellungen der Hauptuntersuchung | 139 |
| 4.5.2 | Entwicklung des Untersuchungsdesigns für die Hauptuntersuchung | 141 |
| 4.5.2.1 | Auswahl der Untersuchungsmethoden | 141 |
| 4.5.2.2 | Methoden zur Qualitätssicherung | 146 |
| 4.5.3 | Methode: Fragebogen | 149 |
| 4.5.3.1 | Entwicklung des Fragebogens | 149 |
| 4.5.3.2 | Durchführung der Fragebogenuntersuchung | 153 |
| 4.5.3.3 | Auswertung der Fragebogenuntersuchung | 153 |
| 4.5.4 | Methode: Interview | 160 |
| 4.5.4.1 | Entwicklung des Interviewleitfadens | 160 |
| 4.5.4.2 | Durchführung der Interviews | 161 |
| 4.5.4.3 | Auswertung der Interviews | 163 |
| 4.5.5 | Darstellung der im Fragebogen ermittelten Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" | 164 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 4.5.5.1 | Inhalte, Auftrittshäufigkeiten und Kontextflexibilität der Schülervorstellungen | 164 |
| 4.5.5.2 | Abhängigkeit der Schülervorstellungen von unterrichtsrelevanten Faktoren | 169 |
| 4.5.6 | Diskussion | 175 |
| 4.5.6.1 | Zusammenfassung der Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" | 176 |
| 4.5.6.2 | Validität der Daten: Absicherung der getroffenen Aussagen durch Hinweise aus der Fragebogenstudie | 197 |
| 4.5.6.3 | Validität der Daten: Absicherung der getroffenen Aussagen durch Hinweise aus der Interviewstudie | 201 |
| 4.5.6.4 | Validität der Daten: Absicherung der getroffenen Aussagen durch Hinweise aus den Begleitstudien | 202 |
| 4.5.6.5 | Wertung der Untersuchungsmethode auf Grundlage der ermittelten Ergebnisse | 205 |
| 4.5.6.6 | Vermutete Wissensquellen für aus wissenschaftlicher Sicht falsche Schülervorstellungen | 211 |
| 4.5.6.7 | Vergleich der Ergebnisse mit ähnlichen Erhebungen | 213 |
| | | |
| 5 | LEITLINIEN ZU KONSTRUKTIVISTISCHEM BIOLOGIEUNTERRICHT UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER SCHÜLERVORSTELLUNGEN ZU "ENERGIE IM BIOLOGISCHEN KONTEXT" | 217 |
| | | |
| 5.1 | Einflüsse auf die Unterrichtsgestaltung durch den methodischen Ansatz: Vermehrte Berücksichtigung von Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" | 219 |
| 5.1.1 | Leitlinien für den methodischen Umgang mit Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" | 229 |
| | | |
| 5.2 | Einflüsse auf die Unterrichtsgestaltung durch den inhaltlichen Ansatz: Vermehrte Berücksichtigung von Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" | 233 |
| 5.2.1 | Leitlinien für die inhaltliche Gestaltung von Biologieunterricht auf Grundlage der ermittelten Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" | 234 |
| | | |
| 5.3 | Zusammenfassende Bewertung der Praxiserfahrungen zum methodischen und inhaltlichen Ansatz dieser Arbeit | 250 |
| | | |
| 6 | ZUSAMMENFASSUNG | 253 |
| | | |
| 7 | LITERATURVERZEICHNIS | 260 |

1 Einleitung

1.1 Das Problem: Mangelnder Kompetenzzuwachs bei Schülern im Biologieunterricht

Die heutigen Schulen bilden ihre Schüler in den naturwissenschaftlichen Fächern zu wenig. So knapp und provokant könnte die aktuelle Diskussion in der Fachliteratur und Tagespresse zur Leistungsfähigkeit des deutschen Bildungssystems zusammengefasst werden: "Gesamtnote: mangelhaft" schreibt Die Zeit am 12.12.1997 im Zusammenhang mit der Untersuchung des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung über "Bildungsverläufe und psychosoziale Entwicklung im Jugendalter"; "Deutsche Schüler¹ sind im Fach Mathematik nur Mittelmaß." behauptet die Third International Mathematics and Science Study vom Frühjahr 1997 (TIMSS; vgl. z.B. BAU-MERT et al. 1996, 1997) - um nur zwei der zahlreichen Pressestimmen zu nennen, die das Ausbleiben von Lernerfolgen widerspiegeln². Auf naturwissenschaftlichen Unterricht bezogen wird resümiert: Weder die anspruchsvollen Zielformulierungen noch die umfangreichen Inhaltskataloge der Lehrpläne oder der Schulbücher werden erfüllt.

- Nur wenig wird gelernt, noch weniger behalten. Vom Fach her gesehen falsche Schülervorstellungen sind robust gefestigt.
- Erworbenes Schulwissen ist "träge", weil es nicht auf neue Aufgabenstellungen angewandt werden kann.
- Ein naturwissenschaftliches Grundverständnis bleibt für die meisten Schüler aus.
- Gravierende Lücken werden nicht im Einüben, sondern im Verständnis von Problemlösen sichtbar. Das Fehlermachenkönnen und -dürfen (produktive Fehler) hat im Unterricht keinen Stellenwert.

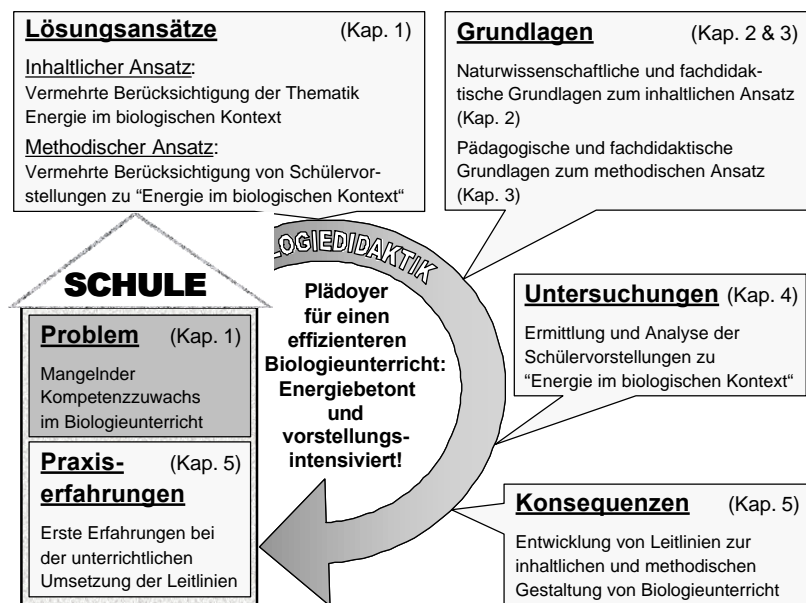


Abb. 1-1: Gliederung der Arbeit (aktuelle Position markiert)

Zur besseren Orientierung ist stets zu Beginn eines neuen Arbeitsabschnittes diese grafische Übersicht zur Arbeit aufgeführt. Die Kurzüberschriften der Arbeitsabschnitte sind in der Kopfzeile eingefügt. Die Arbeitsabschnitte werden in Tabelle 1-1 (S.7) erläutert.

¹ In dieser Arbeit wird von Schülern und Lehrern gesprochen, Schülerinnen und Lehrerinnen sind damit eingeschlossen.

² Die im Dezember 2001 veröffentlichten Daten der von der OECD durchgeführten PISA-Studie zur Erfassung von Basiskompetenzen nachwachsender Generationen bestätigen deutlich diese Bewertung der deutschen Schulleistungen.

• Die Fächer sind ungenügend vernetzt. So wird z.B. die Einführung des Energiebegriffs von Schülern in einzelnen Fächern und Jahrgangsstufen immer wieder als neu empfunden. Zwar werden die solchen und ähnlichen Aussagen zugrundeliegenden Untersuchungsmethoden z.T. heftig kritisiert, Erhebungen mit gegenteiliger Tendenz veröffentlicht und die Schlussfolgerungen öffentlicher Debatten zu derartigen Leistungsvergleichen kritisch hinterfragt (vgl. z.B. HAGEMEISTER 1999). Konsens scheint jedoch zu sein: Schüler lernen heute Anderes und anders als noch vor einigen Jahrzehnten. Die Anforderungen in den Fächern und insbesondere die außerschulischen Angebote, Reize und Herausforderungen sind vielgestaltiger und in der bunten Medienwelt unübersichtlicher und unstrukturierter (BRÜGELMANN 1999). Heutiger Schulunterricht scheint mit den z. Zt. noch vermittelten Inhalten und praktizierten Methoden diesen Veränderungen nicht gewachsen zu sein. Lernschwierigkeiten sind die Folge. Diese von vielen geteilte Beobachtung gepaart mit dem TIMSS-Schock zeigt Wirkungen: Die Bund-Länder-Kommission (BLK) hat ein Programm zur Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts aufgelegt (BLK 1997), neue Stundentafeln, Lehrpläne und Unterrichtsstrukturen werden diskutiert (DAUMER 1999) und von einigen Autoren wird das Ende einer alleinigen "Erlebnis- und Spaßpädagogik" gefordert (u.a. BERCK 1995; KRAUS 1998; SCHAEFER 1999).

Die folgenden Vorstellungen von Schülern der Sekundarstufe II, die *direkt nach* einer Unterrichtseinheit zum Thema Photosynthese in der Abschlussbesprechung geäußert wurden, stimmen nachdenklich:

- Pflanzen stellen aus Wasser und Kohlenstoffdioxid Energie her.
- Mineralsalze sind ein wichtiger Photosynthesefaktor, denn aus ihnen stellt die Pflanze Zucker her.
- Photosynthese ist der Prozess, bei dem aus Licht Chlorophyll hergestellt wird.

Die skizzierten Entwicklungen und der durch achtjährige Lehrtätigkeit im Fach Biologie persönlich bestätigte mangelnde Kompetenzzuwachs bei Schülern (vgl. Textbox) sind die Ausgangspunkte für die Überlegungen zu dieser Promotionsarbeit.

1.2 Übergreifendes Ziel der Arbeit: Effizienzsteigerung des Biologieunterrichts

Übergreifendes Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, fundierte schulpraxisnahe Vorschläge für eine effizientere Gestaltung von Biologieunterricht im traditionellen Klassen- bzw. Kursverband³ zu entwickeln, um damit die in den Richtlinien der Sekundarstufen I und II genannten Aspekte in Hinblick auf die Ziele des Biologieunterrichts in der aktuellen Situation der allgemeinbildenden Schulen besser zu erreichen.

Effizienter zu unterrichten heißt dabei, ausgehend von den eingangs genannten Schwächen des traditionellen Unterrichts und bezogen auf die in den Richtlinien formulierten Ziele:

³ Mit der Einschränkung im "Klassen- bzw. Kursverband" soll herausgestellt werden, dass die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Konzepte *auf das gleichzeitige Unterrichten mehrerer Schüler* ausgerichtet sind. Lerninhalte und Lernmethoden sollen gefunden werden, die aufgrund wiederkehrender Eigenheiten in den individuellen Wissensnetzen der zu unterrichtenden Schüler eine effizientere Vermittlung der Unterrichtsinhalte ermöglichen. Individuelle Lernschwierigkeiten und Eigenheiten der Wissensnetze einzelner Schüler, die nicht wiederholt im Klassen- bzw. Kursverband auftauchen, stehen dabei genauso wenig im Zentrum der Überlegungen wie computerunterstützter Multimedia-Einzelunterricht. Ziel der Arbeit ist es deshalb auch nicht, bei *jedem einzelnen Schüler* einer Lerngruppe das Lernen im Biologieunterricht zu verbessern, sondern insgesamt das durchschnittliche Lernniveau der Gesamtgruppe zu steigern.

- Neue Informationen sollen nicht zum Vorwissen zusammenhangslos addiert, sondern mit diesem vielfältiger *vernetzt* werden, damit nicht auswendig gelernt, sondern verstanden wird und in Folge dessen sich ein *naturwissenschaftliches Grundverständnis* ausbildet (vgl. Abb. 1-2) ⁴.
- Das erworbene Wissen soll von den Schülern leichter auf eine neue, unbekannte Problemstellung angewandt werden können. Wissen soll besser *transferierbar* und damit *kontextflexibler* sein.
- Die Schüler sollen ihr erworbenes Wissen *dauerhafter* behalten und somit auch nach Jahren in entsprechenden Situationen abrufen können.
- Die Schüler sollen die Inhalte des Unterrichts *schneller* aufnehmen. Die Dauer, bis ein Schüler meint, einen Zusammenhang verstanden zu haben, soll verkürzt und der Lernvorgang als möglichst wenig unangenehm (anstrengend, Angst einflößend, verunsichernd) empfunden werden.

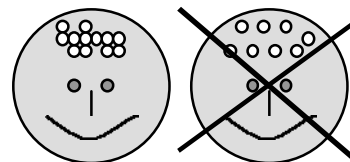


Abb. 1-2: Wissens Elemente einer Domäne sollen untereinander vernetzt sein.

1.3 Zwei Lösungsansätze zur Effizienzsteigerung des Biologieunterrichts

Maßnahmen zur Effizienzsteigerung⁵ schulischen Lehrens und Lernens können an einer Vielzahl von z.T. untereinander vernetzten und sich deshalb gegenseitig beeinflussenden bzw. bedingenden Aspekten ansetzen. Nachfolgend sind solche Aspekte zur Effizienzsteigerung in zwei Ebenen geordnet. In Anlehnung an das Strukturmodell von RODAX & SPITZ (1982) zu Determinanten des Schulerfolgs sind in der ersten Ebene Aspekte zur "De-

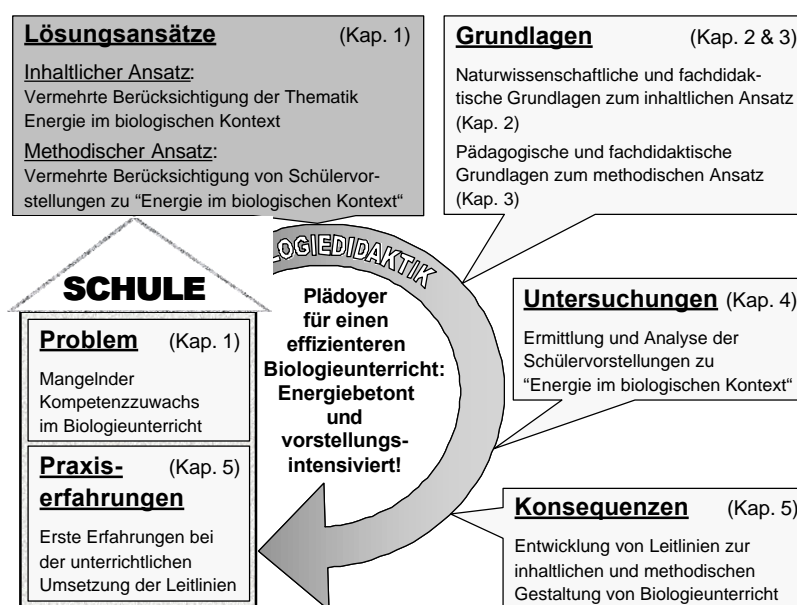


Abb. 1-3: Gliederung der Arbeit (aktuelle Position markiert)

⁴ Verhindert werden soll eine Wissenskompartimentalisierung. Darunter verstehen MANDL, GRUBER & RENKL (1993) Wissen über eine bestimmte Domäne, das sich aus verschiedenen, separat gehaltenen und nicht miteinander verknüpften Teilen zusammensetzt und damit eine defizitäre Wissensstruktur darstellt.

⁵ Die Maßnahmen zur Effizienzsteigerung sind in Anlehnung an SCHAEFER (1971) erarbeitet worden, der unterschiedliche Bereiche, welche die Rahmenbedingungen des naturwissenschaftlichen Unterrichts ausmachen, durch neun Fragen zur Unterrichtsvorbereitung zusammenfasst. Die entsprechenden Frageworte zu inhaltlichen, sozialen und materiellen Aspekten des Unterrichts lauten: Wer? (Adressatenfrage); Wozu? (Zielfrage); Was? (Stofffrage); Wie? (Methodenfrage); Womit? (Medienfrage); Wann?/Wie lange? (Zeitfrage); Wo? (Milieufolge); Von wem? (Personenfrage); Wie kontrolliert? (Evaluationsfrage).

terminante Sozialinstanz" (Schule, Familie, Freundesgruppe und Klasse) und in der zweiten Ebene Aspekte der "psychosozialen Determinante Schülerpersönlichkeit" aufgenommen (vgl. zusammenfassende Diskussion in SAUER & GAMSJÄGER 1996):

Ebene 1: Ebene des Individuums und seiner individuellen mentalen Vorgänge

Beachtet werden in dieser Arbeit vorrangig die mentalen Vorgänge der Schüler, nachrangig die der Lehrer.

Ebene 2: Ebene der Beziehungen zwischen Individuum und biotischer und abiotischer Umwelt bei den Abläufen vor, während und nach dem Unterricht im Klassen- oder Kursverband

Beachtet werden in dieser Arbeit hier vorrangig die Kommunikation Schüler-Schüler, Schüler-Lehrer (biotisch) sowie Schüler-Unterrichtsmaterial (abiotisch).

Die Abbildungen 1-4 und 1-5 geben einen Überblick über die Inhalte der beiden Ebenen, wobei die Auflistung v.a. im Bereich der Unterpunkte nicht den Anspruch auf Vollständigkeit hat. Sie dient dem Überblick und soll den komplexen und vielschichtigen Vorgang des Lehrens und Lernens in wichtige, allerdings miteinander vernetzte Aspekte auflösen. Jeder dieser Aspekte kann theoretisch Ansatzpunkt für Maßnahmen zur Effizienzsteigerung von (Biologie-) Unterricht sein. Im Rahmen dieser Arbeit sind v.a. die fett hervorgehobenen Aspekte ausgewählt worden. Durch das Verändern bzw. Weiterentwickeln des Unterrichts in Hinblick auf diese Aspekte soll die angestrebte Effizienzsteigerung erreicht werden.

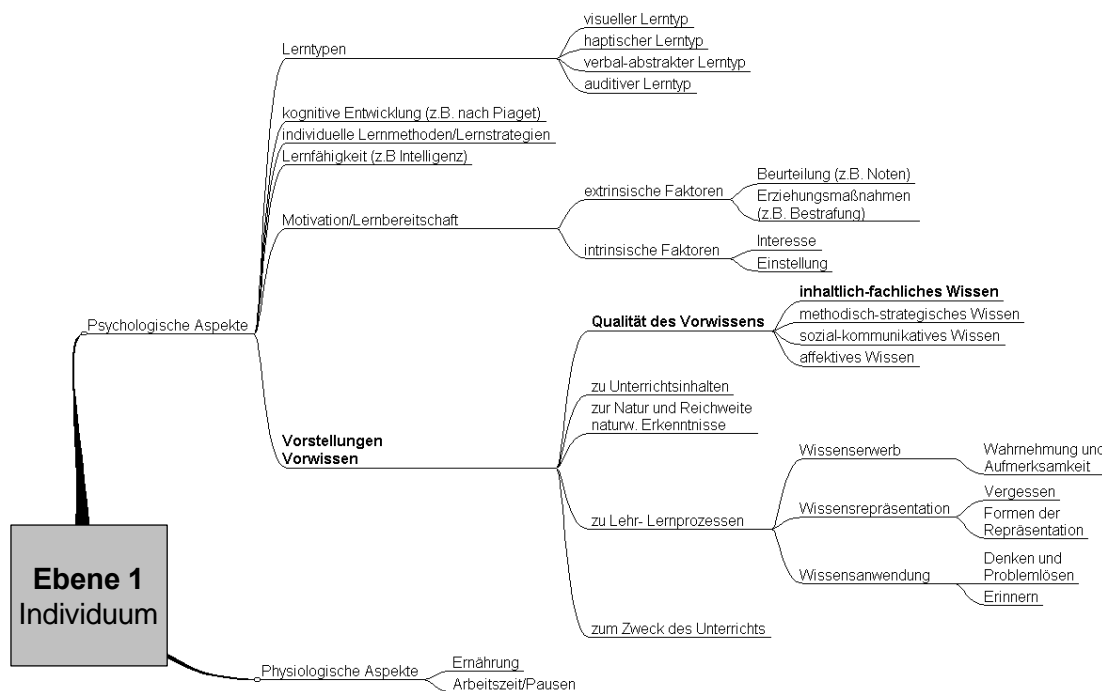


Abb. 1-4: Aspekte, die auf der Ebene des Individuums bei der Effektivitätssteigerung von Biologieunterricht berücksichtigt werden können.

(In dieser Arbeit hauptsächlich berücksichtigte Aspekte sind durch Fettdruck hervorgehoben.)

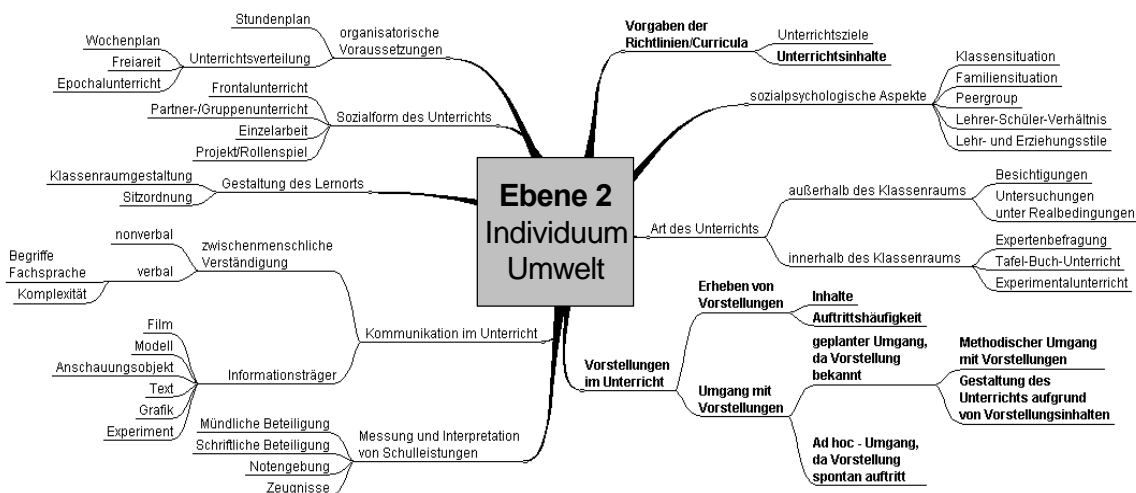


Abb. 1-5: Aspekte, die auf der Ebene der Beziehungen zwischen Individuum und Umwelt bei der Effektivitätssteigerung von Biologieunterricht berücksichtigt werden können.
(In dieser Arbeit hauptsächlich berücksichtigte Aspekte sind durch Fettdruck hervorgehoben.)

Zwei Ansätze fassen die Bemühungen zur Effizienzsteigerung zusammen:

1.3.1 Inhaltlicher Ansatz: Vermehrte Berücksichtigung der Thematik Energie im biologischen Kontext

Eine Effizienzsteigerung soll hier durch das *vermehrte Analysieren von Phänomenen des Lebendigen aus energetischer Sicht* erreicht werden: Der Energiebegriff und die mit ihm verbundenen Theorien zur Energieumwandlung (Thermodynamik) sollen dabei einen Bedeutungszuwachs beim Erklären von einzelnen Sachverhalten, beim Erkennen von Zusammenhängen und beim Vorhersagen von Abläufen im Biologieunterricht erlangen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden die notwendigen theoretischen und anwendungsorientierten Grundlagen geschaffen und dargestellt, so dass Vorstellungen zu energetischen Aspekten der Biologie bei schulischen Lehr- und Lernprozessen stärker als z.Zt. üblich berücksichtigt werden können.

1.3.2 Methodischer Ansatz: Vermehrte Berücksichtigung von Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext"

Eine Effizienzsteigerung soll hier durch die *vermehrte Berücksichtigung von Schülervorstellungen* bei der inhaltlichen und methodischen Planung und Durchführung von gruppenbezogenen Lehr-Lernprozessen erreicht werden: Berücksichtigt werden im Rahmen dieser Arbeit die konkret zum naturwissenschaftlichen Inhalt "Energie im biologischen Kontext" erhobene Schülervorstellungen. Unberücksichtigt bleiben weiterreichende Schülervorstellungen wie etwa zur Natur und Reichweite naturwissenschaftlicher Erkenntnisse, zum Lehr- und Lernprozess selbst, zu Zwecken und Zielen des naturwissenschaftlichen Unterrichts und einzelner Unterrichtsaktivitäten, zu Einstellungen zu den Naturwissenschaften insgesamt, zu einzelnen naturwissenschaftlichen Inhalten, zum naturwissenschaftlichen Unterricht sowie zur Rolle als Schüler bzw. als Lehrer (Aufzählung in Anlehnung an DUIT 1995).

Von den beiden formulierten Ansätzen betrifft der inhaltliche Ansatz v.a. die Ebene 2 der Beziehungen zwischen Individuum und Umwelt und hier besonders den Aspekt der Unterrichtsinhalte und -ziele. Der methodische Ansatz setzt an beiden Ebenen an und beachtet besonders den Aspekt "Vorstellungen".

1.3.3 Begründung zur Kombination des methodischen und inhaltlichen Ansatzes

"Es besteht heute die Tendenz, nur noch Lernprozesse zu beachten und die Lerninhalte zu vernachlässigen. Dies führt bei vielen Lehrkräften zur irrigen Annahme, neue Lernformen (und damit verbunden die Steigerung der Effektivität des Unterrichts, Anmerkung des Autors) ließen sich im Wesentlichen durch andere Unterrichtsverfahren allein schon verwirklichen (...)." (DUBS 1995). Die Äußerung DUBS' unterstützend, wird in dieser Arbeit die Ansicht vertreten, dass die zu Beginn dieses Kapitels genannten Schwächen des aktuellen naturwissenschaftlichen Unterrichts nur durch *Kombination von inhaltlichen und methodischen Ansätzen* gemindert werden können: Durch die Hervorhebung der Energiethematik im Biologieunterricht unter gleichzeitig vermehrter Berücksichtigung der hierzu relevanten Schülervorstellungen scheint ein solches vernetztes Lehr-Lern-Arrangement gefunden zu sein, das den Schülern ein genügend gut strukturiertes Erschließungswissen und damit einen Teil des naturwissenschaftlichen Grundwissens verfügbar macht, das seinerseits weiteres (auch außerschulisches) Lernen durch Transfer fördert. Das naturwissenschaftliche Energieverständnis wird so zu einem durchgängigen Roten Faden, der netzwerkartig die Fachbereiche Biologie, Chemie und Physik verknüpft und die sie verbindenden Zusammenhänge hervorhebt.

Um die "Tragfähigkeit" des Roten Fadens zu gewährleisten, soll die komplexe Energiethematik durch die Berücksichtigung der entsprechenden Schülervorstellungen so fundiert und grundlegend mit den Erfahrungen der Schüler verknüpft werden, dass die Schüler das konstruierte Wissen zu Energie häufig wieder als Wissen für neue Lern- und Problemlöseprozesse erkennen und es deshalb selbstständig und erfolgreich anwenden können. Die Vernetzung zwischen altem und zukünftigem neuen Wissen soll so erleichtert werden (vgl. BURBULES & LINN 1991).

1.4 Gliederung der Arbeit

Um den methodischen und inhaltlichen Ansatz in der vorliegenden Arbeit gekoppelt umsetzen zu können, werden im wesentlichen drei Schritte unternommen:

1. Aufarbeitung fachwissenschaftlicher und didaktischer Grundlagen zum inhaltlichen Ansatz "Vermehrte Berücksichtigung der Thematik Energie im biologischen Kontext" (Kap. 2) sowie zum methodischen Ansatz "Vermehrte Berücksichtigung von Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext"" (Kap. 3);
2. Untersuchung der Schülervorstellungen zur Thematik "Energie im biologischen Kontext" (Kap. 4);
3. Entwicklung von Leitlinien zur inhaltlichen und methodischen Gestaltung von Biologieunterricht unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Schritt 1 und Schritt 2 sowie Zusammenstellung erster Praxiserfahrungen bei der unterrichtlichen Umsetzung der erarbeiteten Maßnahmen, um ihre Wirksamkeit in Tendenzen abschätzen und konkrete Hinweise für die spätere Anwendung im Schulunterricht geben zu können (Kap. 5).

Tab. 1-1: Gliederung der Arbeit: Arbeitsabschnitte und ihre wesentlichen Inhalte

| | | |
|--|--|--|
| <p>Problem Lösungsansätze</p> | <p style="text-align: center;">Einleitung</p> <p style="text-align: center;">Darstellung der Problematik "Mangelnder Kompetenzzuwachs der Schüler im aktuellen Biologieunterricht" und Ausarbeitung zweier Ansätze zur Effizienzsteigerung von Biologieunterricht:</p> <p><u>Inhaltlicher Ansatz:</u> Vermehrte Berücksichtigung der Thematik Energie im biologischen Kontext</p> <p><u>Methodischer Ansatz:</u> Vermehrte Berücksichtigung von Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext"</p> | <p style="text-align: center;">Kapitel 1</p> |
| | <p>Grundlagen</p> | |
| | | <p style="text-align: center;">Grundlagen zum methodischen Ansatz</p> <p>Pädagogische Grundlagen: Die Bedeutung von Schülervorstellungen beim Lernen und Lehren aus konstruktivistischer Perspektive</p> <p>Fachdidaktische Grundlagen: Überlegungen zur Unterrichtsgestaltung auf der Grundlage der konstruktivistischen Auffassung vom Lernen und Lehren</p> <p style="text-align: center;">Strategien der Unterrichtsgestaltung zur Veränderung vorunterrichtlicher Schülervorstellungen</p> |
| <p>Untersuchungen</p> | <p style="text-align: center;">Voruntersuchung</p> <p style="text-align: center;">Untersuchung des assoziativen Umfelds zu den Ausdrücken "Energie" und "Biologie"</p> | <p style="text-align: center;">Kapitel 4</p> |
| | <p style="text-align: center;">Hauptuntersuchung</p> <p style="text-align: center;">Fragebogenuntersuchung und Interviews zur Ermittlung und Analyse von Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" unter Berücksichtigung der asso- ziativen Umfeld der Ausdrücke "Energie" und "Biologie"</p> | |
| | <p style="text-align: center;">Fragebogenstudie an 784 Schülern</p> | |
| <p>Konsequenzen Praxiserfahrungen</p> | <p style="text-align: center;">Leitlinien zur Unterrichtsgestaltung</p> <p style="text-align: center;">Leitlinien zur methodischen und inhaltlichen Unterrichtsgestaltung auf der Grundlage der ermittelten und analysierten Schülervorstellungen und der Überlegungen zur konstruktivistischen Unterrichtsgestaltung</p> | <p style="text-align: center;">Kapitel 5</p> |
| | <p style="text-align: center;">Erste Praxiserfahrungen zur konstruktivistischen Unterrichtsgestaltung unter besonderer Be- rücksichtigung der Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext"</p> | |
| <p>Resümee</p> | <p style="text-align: center;">Zusammenfassung</p> | <p style="text-align: center;">Kapitel 6</p> |

Abschlussbemerkung:

Diese Arbeit steht zwischen allen Stühlen! Emotionsfreier formuliert: Die vorliegende Arbeit ist interdisziplinär: Einerseits muss sie wissenschaftlichen Kriterien standhalten und andererseits ist ihr erklärtes Ziel, einen praxisnahen, anwendungsorientierten Beitrag zur Verbesserung von Biologieunterricht zu leisten.

Da die Erkenntnisse zu Energie in fast allen Wissenschaftsbereichen verwendet werden und in den naturwissenschaftlichen Fächern, insbesondere in der Physik und Chemie, fundamental sind, bewegt sich diese Arbeit in nahezu allen Fachgebieten. Auch wenn der Titel "Energie" auf den "biologischen Kontext" einschränkt, so täuscht diese Formulierung eine Grenze vor, die so nicht existiert. Denn der Energiebegriff wird nicht nur in allen Fachbereichen der Biologie mehr oder minder genutzt - in einigen Teilgebieten der Biologie gewinnt die Energiethematik sogar noch an Wichtigkeit, z.B. in der Verhaltensforschung, in der vermehrt energetische Analysen in den Mittelpunkt des Interesses rücken. Dadurch, dass die Biologie auf den Erkenntnissen weiterer Wissenschaften aufbaut bzw. mit ihnen in Wechselwirkung steht, erweitert sich das Anwendungsgebiet trotz Einschränkung auf den "biologischen Kontext" auf nahezu alle Gebiete der Wissenschaften. So sind z.B. in der Evolutionsbiologie in Hinblick auf Energie auch Überlegungen der Philosophie entscheidend, im Bereich der Stoffwechsel- und Neurophysiologie sind die Erkenntnisse der Physik und Chemie grundlegend, in der Bionik werden Erkenntnisse der Biologie mit Erkenntnissen der Technik verknüpft.

Ähnlich interdisziplinär stellt sich der Ansatz dar, Schülervorstellungen zu Energie zur Verbesserung des Biologieunterrichts einzusetzen: Bei der Untersuchung der Schülervorstellungen wird das Untersuchungsinstrumentarium der Psychologie benutzt, bei der Anwendung der Ergebnisse werden die Erkenntnisse der Pädagogik - speziell der Fachdidaktik der Naturwissenschaften - und die Wissenspsychologie grundlegend. Dabei sind zum einen theoretische Überlegungen, wie z.B. die z.Zt. in allen naturwissenschaftlichen Didaktiken aktuellen Ansätze des Konstruktivismus und seiner erkenntnis- und lehr-lerntheoretischen Spielarten entscheidend; zum anderen erlangen auch die vielfältigen Überlegungen zur inhaltlichen Unterrichtsgestaltung (z.B. aktuelle Richtliniendiskussionen) und zur methodischen Unterrichtsgestaltung (z.B. aktuelle Bemühungen zur Qualitätssicherung in den Schulen (Ansätze der Ministerin BEHLER (1997)) oder das von Bertelsmann unterstützte Methodentraining nach KLIPPERT (1996)) zunehmend Bedeutung.

Sich Gedanken über die Vermittlung der Energiethematik zu machen, erscheint nach den in der Einleitung dargelegten Aspekten ein sehr sinnvolles Unterfangen zu sein. Wegen der Komplexität kann diese Arbeit jedoch das Thema nicht vollständig und aus jeder Sicht angemessen bearbeiten (vgl. Textbox).

Ich hoffe dennoch, mit meiner empirischen Untersuchung, ihrer Analyse, Diskussion und den daraus gezogenen unterrichtlichen Konsequenzen eine für den Schulalltag brauchbare Basis gelegt zu haben, an die sich in verschiedenen Bereichen der Naturwissenschaftsdidaktik in der Zukunft weitere vertiefende Überlegungen anschließen können, mit dem Endziel, Schüler möglichst gut auf die immer umfangreicheren Anforderungen der Schulzeit und darüber hinaus einzustellen.

"(...) wir (haben) uns mit unseren Ideen auch auf Gebiete vorgewagt, auf denen wir nur Dilettanten sind."

Zitat aus dem Vorwort zu Manfred Eigen und Ruthild Winkler "Das Spiel" (EIGEN & WINKLER 1985)

2 Grundlagen zum inhaltlichen Ansatz: Vermehrte Berücksichtigung der Thematik Energie im biologischen Kontext

Das Kapitel 2 erläutert die naturwissenschaftlichen und fachdidaktischen Grundlagen zur unterrichtlichen Umsetzung des inhaltlichen Ansatzes dieser Arbeit.

Das Wort Energie hat je nach Bezugsrahmen sehr unterschiedliche Bedeutungen, es besitzt "Lexikalische Mehrdeutigkeit" (ANDERSON 1996).

In den *naturwissenschaftlichen Grundlagen* zum inhaltlichen Ansatz (Kap. 2.1) werden deshalb zunächst die Bedeutungen des Wortes Energie in den Naturwissenschaften, in den Gesellschafts- und Geisteswissenschaften und in der Alltagssprache erläutert (Kap. 2.1.1). Für den Biologieunterricht ist besonders der naturwissenschaftliche Energiebegriff wichtig. Er wird in Kapitel 2.1.2 und 2.1.3 ausführlich thematisiert.

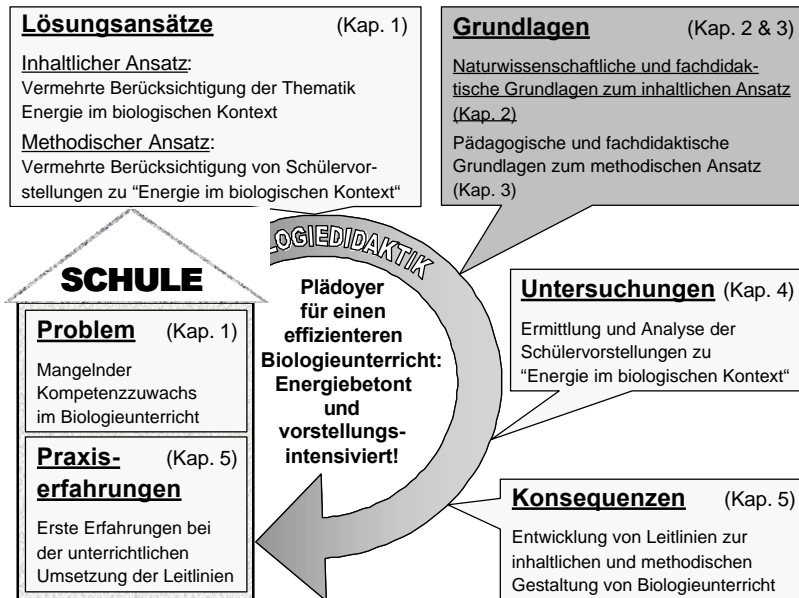


Abb. 2-1: Gliederung der Arbeit (aktuelle Position markiert)

In den *fachdidaktischen Grundlagen* (Kap. 2.2) werden im Anschluss Aspekte zur Legitimation des inhaltlichen Ansatzes diskutiert. Hierbei werden in Kapitel 2.2.1, gegliedert in vier Argumentationsstränge, verschiedene Kriterien zur Auswahl bzw. Bedeutungsbestimmung von Unterrichtsinhalten und -zielen aufgezeigt und auf das Thema Energie angewandt. Das Kapitel 2.2.2 beschäftigt sich im ersten Teil mit der Frage, in wieweit die aktuellen Lehrpläne das Thema Energie im naturwissenschaftlichen Unterricht berücksichtigen und in wieweit sie eine vermehrte Berücksichtigung stützen. Im zweiten Teil wird aufgezeigt, in welchen Themenbereichen des Biologieunterrichts zusätzlich zu den Fachgebieten, die in den Lehrplänen genannt sind, eine vermehrte Berücksichtigung energetischer Aspekte möglich und sinnvoll erscheint.

2.1 Naturwissenschaftliche Grundlagen: Die Bedeutung des Wortes Energie unter besonderer Berücksichtigung biologischer Kontexte

2.1.1 Die unterschiedliche Bedeutung des Wortes Energie in verschiedenen Begriffssystemen

Das Wort Energie stammt vom griechischen "enérgeia" (WAHRIG et al. 1981). Seine Bedeutung ist seit den Vorsokratikern belegt. Samt Derivaten bezeichnete es damals die Wirksamkeit, die Betätigung sowie die Tatkraft, d.h. jegliche Art von Aktivität im Gegensatz zum Erleiden. Außerdem wurde das Wort in Zusammenhang mit dem Eingreifen überirdischer Wesen in weltliche Bereiche verwendet. (vgl. KLAUSER 1962). Der etymologische Stammbaum zum Energiebegriff ist weiter von SCHAEFER (1998) analysiert worden. Über Wortsippen um "Energie", die vermutlich aus der gleichen indoeuropäischen Wurzel "uer" stammen, leitet SCHAEFER ab, dass der Begriff etwas "von innen heraus" meint, was die Dinge "biegt, dreht, windet": Energie als (innen im System) gespeicherte Arbeit, und Arbeit wiederum als Kraft, die biegt, dreht und windet. Nach KLUGE (1989) wird das spätlateinische "energia" als "énergie" ins Französische entlehnt und von dort in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts ins Deutsche übernommen. Hier findet der Ausdruck im letzten Drittel des 18. Jahrhunderts besonders durch Herder sowie durch den Einfluss von französischen Revolutionsschriften, die das französische "énergie" als Schlagwort bekannt machen, allgemeine Verbreitung. In der Physik setzt sich das Wort Energie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts gegenüber dem älteren "lebendige Kraft" als Fachausdruck durch (PFEIFER 1993).

Der Ausdruck Energie ist nicht nur ein Fachterminus der Naturwissenschaftler. Vielmehr wird er in vielen Bereichen menschlicher Tätigkeit und damit in unterschiedlichen Begriffssystemen verwendet. Die Bedeutung des Energiebegriffs variiert dabei zwischen den Systemen deutlich (BUCK 1980). Um nur zwei Begriffssysteme anzudeuten: Ein Physiker z.B. verwendet den Begriff im Zusammenhang mit der Formel $E = mc^2$ als Rechengröße, ein ermatteter Läufer in der Aussage "Ich bin schlapp und habe keine Energie mehr." als Ausdruck für mangelnde körperliche Fitness. Innerhalb der verschiedenen Begriffssysteme ist der Sinngehalt von Begriffen mehr oder weniger fest vorbestimmt. Ein Wechseln zwischen den Begriffssystemen findet jedoch - stellenweise unbewusst - ständig statt, z.B., wenn der eben erwähnte Physiker nach getaner Arbeit Joggen geht.

Nachfolgend werden die unterschiedlichen Sinngehalte des Wortes Energie innerhalb der Begriffssysteme für die drei Bezugsrahmen "Naturwissenschaft", "Gesellschafts- und Geisteswissenschaft" und "Alltag" unter Berücksichtigung historischer Bezüge erörtert. Die Auswahl dieser drei Bezugsrahmen ist das Ergebnis des Versuchs, die verschiedenen Bedeutungen des Energiebegriffs nicht detailliert zu beschreiben - wie BUCK, der allein innerhalb der Naturwissenschaften sechs verschiedene Begriffssysteme auflistet (BUCK 1978) - , sondern möglichst kontrastiert gegeneinander abzugrenzen. Warum speziell diese Bezugsrahmen? Einerseits sollte zwischen den Sprachebenen Wissenschaft und Alltag und andererseits zwischen Natur- und Geisteswissenschaft unterschieden werden. Die Geisteswissenschaften sind im Rahmen dieser Erläuterungen unterteilt worden in den übergreifenden Bereich der Geisteswissenschaften und den Teilbereich der Gesellschaftswissenschaften (Soziologie), da hier deutliche Unterschiede in Bezug auf den Sinngehalt des Energiebegriffs auftreten.

Naturwissenschaft

Im *aktuellen* naturwissenschaftlichen Kontext wird zumeist eine physikalische Definition von Energie angewendet. Energie ist dabei als *amateriell* zu kennzeichnen, nämlich als eine *Rechengröße* (vgl. FEYMANN 1970), die über den Ablauf eines jeden Prozesses ihren berechenbaren Gesamt-Wert nicht verändert. Die Rechengröße Energie stellt deshalb ein Mittel dar, um verschiedene, scheinbar nicht zusammenhängende Phänomene als zusammengehörig, als Einheit zu begreifen und in ihren gegenseitigen Beziehungen zu beschreiben.

Das Wort Energie, heute zweifellos ein zentraler Begriff in *allen* Naturwissenschaften, ist nach DUIT ein primär *physikalischer* Begriff, da er im wesentlichen von der Wissenschaft Physik hervorgebracht wurde. Als ein Begriff, der für den Zusammenhang der verschiedenen "Naturkräfte bzw. -erscheinungen", wie Feuer (Wärme), Wind (Bewegung), Druck (Kraft) usw. sorgt, trug er bereits bei seiner Entwicklung vor ca. 150 Jahren stark interdisziplinäre Züge und ist inzwischen in allen Naturwissenschaften von großer Bedeutung (DUIT 1986). So sind z.B. in der Chemie Stoffumbildungen immer mit Umsetzung von Energie verbunden, wobei die auftretenden Energieflüsse die Richtung und die Geschwindigkeit der Prozesse bestimmen. In der Biologie spielt der Energiebegriff u.a. bei der Evolution, den Verhaltensweisen und Stoffwechselforgängen von Organismen sowie in der Teildisziplin Ökologie z.B. bei Energieflüssen in der Biosphäre eine Rolle. Allen Naturwissenschaften gemeinsam ist der Aspekt der Informationserhaltung über Zeitintervalle, welcher durch das Vorhandensein von Energie ermöglicht wird. Die Struktur der Materie, die Ordnung von belebten Systemen und das Steuern und Regeln sind hierzu Beispiele für die Erscheinungs- und Wirkungsformen von Energie (WENK & TROMMER 1977) (vgl. ausführliche Erläuterungen in Kap. 2.1.3.3, S. 24).

Gesellschafts- und Geisteswissenschaft

In gesellschaftswissenschaftlichen Kontexten, also immer dann, wenn es im weitesten Sinne um formale und inhaltliche Zusammenhänge des Lebens, vorwiegend um Prozesse menschlichen Zusammenlebens geht (SCHÄFFERS 2000), besitzt der Begriff Energie häufig eine Bedeutung, die als eher materiell zu kennzeichnen ist. Besonders im Zusammenhang mit politischen, wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten der Energieversorgung wird der Ausdruck Energie nämlich als Synonym für "Treibstoff" verwandt. Im Gegensatz zum naturwissenschaftlichen Energiebegriff ist der Aspekt der Energie-"Erhaltung" im Kontext der Energieversorgung dem "gesellschaftlichen Energieverständnis" *nicht* eigen: Energie entsteht hier aus Prozessen und erschöpft sich in Wirkungen - Energie kann in Kraftwerken *hergestellt* und als Strom *verbraucht* werden" (zu kennzeichnenden Aspekten des naturwissenschaftlichen Energiebegriffs vgl. Kap. 2.1.2.1, S. 14).

Durch die aktuellen Umweltprobleme unserer in jeder Hinsicht von der Energie (Treibstoff) abhängigen Industriegesellschaft (GÖRRES-GESELLSCHAFT 1986) - als Beispiel sei hier an die klimatischen Veränderungen durch die vermehrte Nutzung fossiler Energiequellen erinnert (Treibhauseffekt) - sind dabei der Begriff Energie und die mit dem Umgang mit Energie verbundenen Auswirkungen auf menschliches Verhalten stets relevant und im öffentlichen Bewusstsein fest verankert. Alltägliche Schlagworte wie Energieknappheit, Verminderung des Energieverbrauchs oder alternative Energieversorgung belegen diese Aussage (vgl. AHLHEIM 1983).

Dieses allgemeine Interesse an Energie war in Deutschland nicht immer so stark wie heute ausgeprägt. Nach der Festigung der wirtschaftlichen Verhältnisse in der Wiederaufbauphase nach dem Zweiten Weltkrieg betrachteten die meisten Menschen das Vorhandensein relativ preiswerter Energie in ausreichender Menge als Selbstverständlichkeit, wodurch der Energiesektor zu einem politischen Randbereich wurde. Entsprechend dieser gesamtgesellschaftlichen Einstellung wurde

der Komplex "Energie" auch in der Schule weder thematisiert noch problematisiert. "'Energie' fand lediglich als physikalischer Fachterminus Verwendung oder wurde als wirtschaftlicher Produktionsfaktor theoretisch abgehandelt. All dies änderte sich grundlegend und in kürzester Zeit im Laufe der 70er Jahre. Vor allem durch den 'Öl-Schock' und seine Auswirkungen (...) wurde das 'Energieproblem' zu einem Begriff mit höchstem Öffentlichkeitswert und zu einem Politikum ersten Ranges." (WIRTSCHAFTSAKADEMIE FÜR LEHRER 1985).

Neben dem aufgezeigten amateriellen Energieverständnis der Naturwissenschaften und dem materiellen Energieverständnis der Gesellschaftswissenschaften wird dem Begriff Energie in einigen Geisteswissenschaften wieder ein amaterieller Sinngehalt zugeordnet. So wird z.B. in der Philosophie, Pädagogik und Psychologie der Ausdruck Energie in Bezug auf Dinge, insbesondere in Bezug auf Menschen, im Sinne von "Tatkraft", "als hinter der Tat liegender Antrieb" verstanden. Freud lehrt, dass die psychische Energie (Libido) für längere Zeit konstant bleibt und sich in der Entwicklung nur immer wieder auf andere (erogene) Zonen verlagert bzw. verdrängt wird, dann aber auch nicht verloren gegangen ist (vgl. DORSCH 1998; GAUER 1972).

In der Energetik (als Teilbereich der Philosophie) wird die Auffassung vertreten, dass Energie die Grundlage und das Wesen allen Seins sei (vgl. auch Abb. 2-2).

Bei der energetischen Sprachbetrachtung wird die Ansicht vertreten, dass Sprache nicht ein einmal Geschaffenes, sondern eine ständig erzeugende, den Geist durchformende Kraft sei (WAHRIG et al. 1981). Auch in bestimmten Fachbereichen der Medizin (u.a. Naturheilkunde und chinesische Heilkunst) sowie in Bereichen der Esoterik wird der

Begriff Energie im weitesten Sinne mit ähnlichem Sinngehalt als amaterielle aber beeinflussbare "Kraft" (z.B. die Kräfte Yin und Yang, die die Lebensenergie Qi hervorbringen) angewandt (CORAZZA et al. 1999).

Alltagssprache

Besonders durch die schulische und multimediale Sozialisation lernen bereits junge Menschen Teile der Begriffssysteme der Bereiche Naturwissenschaft sowie Gesellschafts- und Geisteswissenschaft kennen. Im Rahmen der Alltagssprache wenden deshalb spätestens Schüler der Sekundarstufe I in der Regel alle zuvor aufgezeigten Bedeutungen des Wortes Energie an. Alltagssprache wird hier verstanden als vielfach situations- und personenabhängige, als nicht formalisierte Sprache in Abgrenzung zur gesellschafts-, geistes- und naturwissenschaftlichen Fachsprache (HILFREICH 1979). Die unterschiedliche Intensität, mit der die zuvor erläuterten Bedeutungen des Energiebegriffs die Lebenswelt der Schüler beeinflussen, hat zur Folge, dass besonders zwei bestimmte Bedeutungen häufig dem Wort Energie in der Alltagssprache zuzuordnen sind. Zum einen wird das Wort Energie - entlehnt aus dem Begriffssystem der Geisteswissenschaft - im Zusammenhang mit einer Organismen und Dingen zugesprochenen „Eigenschaft“ verwendet. Substantive wie Power, Kraft, Leistungsfähigkeit, Schwung, Tatkraft, Nachdruck, Elan, Mumm und Adjektive wie energisch,



Abb. 2-2: Energie in Form von Licht und Feuer als Ausgangspunkt des Lebens

Für die griechische Mythologie beginnt die menschliche Entwicklungsgeschichte mit der Überbringung des Feuers als Energiequelle durch Prometheus (ERDMANN 1992).

(Abbildung aus BERGAU et al. (1998), Titel und Maler hier nicht genannt)

stark, aktiv, schwungvoll, tüchtig, entschlossen, durchsetzungsstark sowie deren Negationen stehen für diese Eigenschaft (KÜPPER 1965, vgl. auch Ergebnisse der Assoziationsbefragung, S.138). Mögliche Anwendungen des Wortes Energie in diesem Zusammenhang sind z.B.: Energie für etwas aufbringen, haben, besitzen; sich mit aller Energie für etwas einsetzen; kriminelle Energie besitzen; energisch Maßnahmen ergreifen; energisch auftreten. Zum anderen wird Energie - entlehnt aus dem gesellschaftswissenschaftlichen Bereich - mit Energieträgern, häufig mit dem Energieträger "Elektrischer Strom" gleichgesetzt. Der Sinngehalt des naturwissenschaftlichen Begriffssystems, insbesondere der Aspekt der Energie-Erhaltung, findet in der Alltagssprache kaum Anwendung.

Die Bedeutung des Energiebegriffs in dieser Arbeit

Obwohl die Formulierung des Titels „Energie im biologischen Kontext“ andeuten mag, dass im Rahmen der Arbeit das Wort Energie ausschließlich im naturwissenschaftlichen Begriffssystem verstanden und benutzt werden soll, ist in Hinblick auf die Untersuchungen zu Schülervorstellungen eine Öffnung hin zum gesellschafts- und geisteswissenschaftlichen Begriffssystem unumgänglich. Von dieser Ausnahme (nämlich den Auswertungen der Befragungen zu Schülervorstellungen) abgesehen, wird im Folgenden der Energiebegriff im naturwissenschaftlichen Begriffssystem, welches in Kapitel 2.1.2 noch näher zu differenzieren ist, benutzt.

2.1.2 Allgemeine naturwissenschaftliche Kenntnisse zum Thema Energie

Die folgenden Erläuterungen zum Energieverständnis beziehen sich auf den heutigen Kenntnisstand der Naturwissenschaften. Die historische Entwicklung zum jetzigen Energieverständnis wird dabei nur kurz skizziert (Zur Geschichte des Energiebegriffs vgl. z.B.: BUCK 1980; FALK & RUPPEL 1976). Vorrangig werden diejenigen grundlegenden Charakteristika des naturwissenschaftlichen Energiebegriffs thematisiert, die für das Beschreiben, Analysieren und Vorhersagen biologischer Phänomene bezogen auf Vorgänge in Organismen, zwischen Organismen und zwischen Organismen und ihrer Umwelt relevant sind.

Energie ist weder eine Sache, die beschrieben werden könnte, wie etwa das Wasser, noch ein Vorgang, der beobachtet werden könnte, wie etwa die Wellenbewegung auf der Wasseroberfläche. Energie selbst ist nicht sichtbar, lediglich ihre Träger und ihre Umwandlungsprozesse sind wahrnehmbar bzw. nachweisbar¹. 150 Jahre physikalische Erfahrung seit "Entdeckung des Energieprinzips" haben gezeigt, dass sich in einem betrachteten geschlossenen System vor und nach Ablauf eines Prozesses stets eine Größe berechnen lässt, die über den Ablauf des Prozesses ihren Wert nicht verändert (BERGMANN & SCHAEFER 1998). Diese skalare Größe wird Gesamtenergie genannt. Da sie über Abläufe hinweg konstant bleibt, wird sie auch als Erhaltungsgröße charakterisiert (vgl. STUART & KLAGES 1984).

Einem System wird eine Energiegröße aufgrund unterschiedlicher Indikatorgrößen zugeschrieben, z.B. Geschwindigkeit und Abstand². Wegen der unterschiedlichen Indikatorgrößen spricht man auch von unterschiedlichen Energieformen, z.B. kinetischer Energie und potentieller Energie. Mit Hilfe der Indikatorgrößen lassen sich Energieterme (Formeln) aufstellen, die alle verschiedene Energiegrößen darstellen und in Bezug setzen. Durch diese Möglichkeit, die Erhaltungsgröße Energie auf andere Begriffe bzw. Größen zurückzuführen, stellt Energie ein Mittel dar, um ver-

¹ Plakatativ formuliert: Energie hat keine physikalische Realität, sondern ist lediglich eine Rechengröße (Duit 1980; SCHOLLUM & OSBORNE 1985).

² Die potentielle Energie eines Körpers ist abhängig vom Abstand, den der Körper von (großen) Massen einnimmt.

schiedene, scheinbar nicht zusammenhängende Phänomene als zusammengehörig, als Einheit zu begreifen und in ihren gegenseitigen Beziehungen zu beschreiben. Der Versuch, Energie nun dadurch begreifbarer zu machen, dass alle durch sie zusammengefassten Phänomene aufgezählt werden, ist zwecklos. Es handelt sich hierbei nämlich um alle Vorgänge, die in der Natur beobachtet werden können (FALK & RUPPEL 1976). Eine andere Möglichkeit, mit Energie umzugehen, ist das Aufstellen von Hilfsdefinitionen. Eine solche gängige Umschreibung ist z.B.: Energie ist die Fähigkeit eines Körpers, Arbeit zu leisten (BERTELSMANN 2000; FALK & RUPPEL 1976). Diese an alltägliche Beobachtungen angelehnte Beschreibung, die jedoch keine Definition von Energie darstellt, mag als einfache Gedankenstütze über den nun folgenden genaueren Betrachtungen stehen.

2.1.2.1 Fünf kennzeichnende Aspekte von Energie

Die naturwissenschaftliche Bedeutung des Energiebegriffs weist in den Naturwissenschaften Physik, Chemie und Biologie und über ihre Grenzen hinaus wiederkehrende Charakteristika auf. Fünf dieser kennzeichnenden Aspekte der Energie sind Arbeiten DUITs (1980, 1986) und PROSKES (1997) entnommen und nachfolgend kurz erläutert (vgl. auch BERGMANN & SCHAEFER 1998; FALK & RUPPEL 1976; SCHLICHTING & BACKHAUS 1980). Sie können im Sinne der Begriffs-Definition (vgl. z.B. BERCK 1999) als "kritische Attribute" des Energiebegriffs verstanden werden (vgl. Abb. 2-3):

Mengenartigkeit

Jedem System lässt sich eine bestimmte Energiemenge, ein bestimmter Energiegehalt zuschreiben. Mengenartigkeit bedeutet dabei, dass zwei Systeme mit der Energie E_1 und E_2 zusammengenommen die Gesamtenergie $E_1 + E_2 = E_G$ besitzen. Definiert man nun das Universum als das größte anzunehmende System und sagt: $E_{\text{Universum}} = E_{\text{Untersystem 1}} + E_{\text{Untersystem 2}} + \dots + E_{\text{Untersystem n}}$, dann lässt sich daraus folgern, dass alle Energie des Universums quasi die Eigenschaft eines unzerstörbaren Stoffes haben muss, da die Summe aller Untersysteme immer gleich $E_{\text{Universum}}$ ist. Hier wird bereits das zweite Charakteristikum der Energie deutlich: ihre Unzerstörbarkeit und damit ihre Konstanz bzw. Erhaltung.

Erhaltung

Energie geht nicht verloren und kann nicht erzeugt werden. Bei Energieumwandlung entsteht aus Energie immer wieder Energie. Es besteht eine feste Beziehung zwischen den verschiedenen Energieformen; d.h., einem bestimmten Betrag einer Energieform entspricht ein bestimmter Betrag einer anderen Energieform bzw. mehrerer anderer Energieformen, da bei der Umwandlung z.B. von elektrischer Energie oder chemischer Bindungsenergie in Bewegungsenergie durch einen Elektromotor bzw. in Muskeln auch thermische Energie frei wird.

Umwandelbarkeit

Energie tritt in verschiedenen Formen auf und kann von einer in die andere Form umgewandelt werden. Verschiedene Energieformen sind: kinetische Energie wie Rotations-, Vibrations- und Translationsenergie sowie potentielle Energie wie Gravitationsenergie, Kompressionsenergie, Oberflächenenergie, elektrische, chemische und magnetische Energie (BERGMANN & SCHAEFER



Abb. 2-3: Fünf "kritische Attribute" des Energiebegriffs

1998). Nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik können die verschiedenen Energieformen nur zu einem gewissen Anteil in beliebige andere Energieformen umgewandelt werden. Bewegungsenergie (kinetische Energie) und elektrische Energie zählen dabei zu den wertvolleren Energieformen, da sie wenigstens theoretisch vollständig in jede andere Energieform umgewandelt werden können. Thermische Energie als Endstufe aller Energieumwandlungsprozesse stellt eine "weniger wertvolle" Energieform dar. Sie kann nur teilweise wieder in andere Energieformen umgewandelt werden (DUIT 1980; FALK & RUPPEL 1976; PROSKE 1997).

(vgl. Energieentwertung)

Übertragbarkeit

Energie kann von einem System auf ein anderes übertragen werden. Trifft z.B. eine rollende Stahlkugel A auf eine andere sich in Ruhe befindene Kugel B gleicher Beschaffenheit, so wird die kinetische Energie der rollenden Kugel im unelastischen Stoß auf die ruhende Kugel übertragen. Kugel A wird zum Stillstand kommen, und Kugel B wird mit etwas geringerer Geschwindigkeit zu rollen beginnen. Die Geschwindigkeit wird deshalb niedriger sein, weil ein Teil der Energie von A bei der Übertragung in Wärme umgewandelt wird.

Energieentwertung

Energie kann zwar nicht verloren gehen, sehr wohl kann sie sich aber der Nutzung entziehen. Dies ist der Fall, wenn zwischen zwei Systemen kein energetischer Gradient besteht. So enthalten z.B. ein heißer Wassertopf oder die H^+ -Konzentration in Zellkompartimenten eine bestimmte Menge Energie. Man kann diese Energie aber nur nutzen, wenn die Umgebungstemperatur von der des Wassertopfes oder die H^+ -Konzentration von der der Umgebung abweicht. Nur Temperatur- bzw. Konzentrationsdifferenzen können durch Wärmekraftmaschinen bzw. Enzyme genutzt werden. Gleich verteilte Wärme wird deshalb als wenig wertvolle Energieform bezeichnet: Alle Energieformen außer thermischer Energie lassen sich in eine andere Energieform oder direkt in Wärme umwandeln, aber die Rückwandlung von Wärme in eine andere Energieform ist nur unter bestimmten Voraussetzungen (z.B. genügend große Temperaturdifferenz bei realen Wärmekraftmaschinen) und nur teilweise möglich.

Energie setzt sich aus zwei Anteilen zusammen. Der Energieteil, der Arbeit verrichten kann, wird Exergie genannt. Der nicht nutzbare Restteil der Energie, der bei jedem Energieumwandlungsprozess gemäß dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik (vgl. Kap. 2.1.2.2) zunimmt, heißt Anergie (BERGMANN & SCHAEFER 1998; PROSKE 1997).

Die fünf grundlegenden Aspekte der Energie lassen sich mit folgender Aussage kurz zusammenfassen:

Da Energie nicht verloren geht, muss zum Ablauf aller Prozesse Energie zwischen Systemen in unterschiedlichen Formen ausgetauscht werden. Allein der Umwandlungsprozess in thermische Energie ist vollständig. Alle Energie wird letztendlich in die unedelste Form "Wärme" überführt.

2.1.2.2 Die Hauptsätze der Thermodynamik

Die Thermodynamik³ handelt von allgemeinen Verfahren zur Naturbeschreibung (FALK & RUPPEL 1976). Betrachtungsgegenstände der Thermodynamik sind Systeme. Als System wird dabei jedes "Volumen" bezeichnet, das in Gedanken abgegrenzt werden kann. Die Thermodynamik geschlossener Systeme, also solcher Systeme, die weder Stoff- noch Energieaustausch mit der Umgebung zeigen, basiert auf drei Fundamentalsätzen. Diese Hauptsätze der Thermodynamik sind in der Literatur häufig unterschiedlich formuliert. Die verschiedenen Ausdrucksweisen sind dabei zum einen Folge der Möglichkeit unserer Sprache, einen Gedankengang unterschiedlich beschreiben zu können. Zum anderen - und das ist der wichtigere Grund - sind die Aussagen der Hauptsätze so grundlegend für alle Vorgänge in der Natur, dass es möglich ist, unterschiedliche Aspekte (unterschiedliche beobachtbare Phänomene) ein und desselben Prinzips in den Vordergrund zu stellen. In den folgenden beiden Abschnitten werden verschiedene Formulierungen angegeben und die Aussagen der Hauptsätze grundlegend erläutert.

Erster Hauptsatz

Der erste Hauptsatz kann wie folgt formuliert werden:

- Die Summe aller Energien in den verschiedenen Erscheinungsformen in einem abgeschlossenen System ist konstant (BAEHR 1997).
- Energie kann weder geschaffen werden noch verloren gehen, sondern nur von einer Form in eine andere transformiert werden (FALK & RUPPEL 1976).
- In einem abgeschlossenen System, in dem sich beliebige mechanische, thermische, elektrische, optische oder chemische Vorgänge abspielen, bleibt die Gesamtenergie unverändert. Die Gesamtenergie des Weltalls ist unveränderlich (HÖFLING 1998).
- Die einem Körper zugefügte Wärmemenge muss sich in der Zunahme seiner inneren Energie und in der von ihm nach außen geleisteten Arbeit wiederfinden (STUART & KLAGES 1984).

Zunächst scheint der Energieerhaltungssatz unseren Alltagserfahrungen zu widersprechen. Stößt man z.B. ein Pendel an, so wird dieses selbst bei noch so guter Lagerung schon nach kurzer Zeit sichtbar die Schwingungsbewegung verkleinern und schließlich ganz einstellen. Die dem Pendel gegebene Energie scheint verbraucht. Dieses scheinbare Verbrauchen von Energie tritt auch in vielen Bereichen des Alltags auf. So sprechen wir z.B. vom Energieverbrauch elektrischer Geräte und analog hierzu von der Energieerzeugung im Elektrizitätswerk; auch die Energie der Nahrung wird im Sprachgebrauch bei den Tätigkeiten des Menschen verbraucht. Erzeugung und Verbrauch von Energie finden aber nur bei oberflächlicher Betrachtung des Sachverhaltes statt. Ein sehr empfindliches Thermometer würde beim Pendelbeispiel zeigen, dass sich beim Schwingungsvorgang sowohl die Umgebungstemperatur als auch das Pendel selbst etwas erwärmen. Die verloren geglaubte Energie ist durch Reibung in Form von Wärme auf die Umgebungsluft und das Pendelmaterial übertragen worden, wobei die Energiemenge des Systems "Pendel und Umgebung" über den gesamten Versuchsablauf konstant geblieben ist. Bewegungsenergie ist hier also vollständig in thermische Energie umgewandelt worden.

Mit Hilfe eines Experiments konnte verifiziert werden, dass der erste Hauptsatz auch für Lebewesen gilt. Untersucht wurde hierzu der Energiegehalt zweier Versuchsaufbauten. Die bei der Ver-

³ "Wenn auch die Thermodynamik von der Untersuchung der Wärmeerscheinungen ausging, so hat sie im Laufe ihrer Entwicklung den engen Rahmen einer Wärmelehre längst gesprengt. Wir können sie vielmehr als eine *allgemeine Energielehre* definieren. Sie lehrt die Energieformen zu unterscheiden, zeigt ihre gegenseitige Verknüpfung in der Energiebilanz des ersten Hauptsatzes und klärt durch die Aussage des zweiten Hauptsatzes die Bedingungen und Grenzen für die Umwandlung verschiedener Energieformen bei natürlichen Vorgängen und technischen Prozessen." (BAEHR 1997).

brennung einer eingedampften Nährlösung freigesetzte Wärme wurde mit der Verbrennungswärme der Nährlösung, des darauf kultivierten Mycels und der durch das Mycel freigesetzten Wärme verglichen. Die ermittelten Wärmemengen zeigen: Auch Lebewesen können keine Energie neu produzieren (KINZEL 1989).

Zweiter Hauptsatz

Der zweite Hauptsatz kann wie folgt formuliert werden:

- Die Entropie eines abgeschlossenen Systems von Körpern, die miteinander in Wechselwirkung stehen, kann nur zunehmen, niemals aber abnehmen. Der Begriff Entropie kann hierbei mit "Unordnung" oder "Grad der Verteilung" umschrieben werden (STRASBURGER et al.1983).
- In einem abgeschlossenen System kann die Entropie niemals abnehmen, sondern sie bleibt bei reversiblen Vorgängen konstant und nimmt bei irreversiblen Vorgängen zu. Die Entropie im gesamten Weltall wächst beständig (HÖFLING 1998).
- Die Natur strebt aus einem unwahrscheinlicheren dem wahrscheinlicheren Zustand zu (HASSINGER & WIEBUSCH 1989).

Es ist eine Grunderfahrung, dass Vorgänge in unserer Umgebung von allein nur in eine bestimmte Richtung ablaufen, also irreversibel sind. Wir werden immer nur beobachten können, dass Wärme von einem wärmeren auf einen kälteren Körper übergeht, niemals aber umgekehrt, obwohl die Aussage des Energieerhaltungssatzes auch bei letzterer Möglichkeit eingehalten würde (FALK & RUPPEL 1976). Wir stellen zwar fest, dass heißer Kaffee in der Tasse schnell abkühlt. Niemals jedoch wird es passieren, dass eine Tasse kalter Kaffee unter Abkühlung der Umgebungstemperatur sich erwärmt. Ebenso entspricht es unserer Alltagserfahrung, dass sich ein Zuckerwürfel im heißen Kaffee löst, die Zuckermoleküle statistisch gesehen in der zur Verfügung stehenden Raum gleich verteilt werden. Niemand beobachtete jedoch bisher, dass in den Kaffee lose eingestreuter Zucker sich an einer Stelle sammelt und zu einem Zuckerwürfel ordnet. Die Natur strebt offensichtlich auf weite Sicht also einem Ausgleich aller Energieniveaus und einer Gleichverteilung der Masse entgegen. Auf das Kaffeetassenbeispiel bezogen heißt das: möglichst gleichmäßige Temperaturverteilung (physikalisch ausgedrückt: gleiche Brown'sche Molekularbewegung) im System "Kaffeetasse und Umgebungsluft" und gleichmäßige Verteilung der Zuckermoleküle im System "süße Kaffeeflüssigkeit".

Um die Zustandsänderung eines Systems hinsichtlich seiner Wahrscheinlichkeit auszudrücken, hat man die Größe Entropie eingeführt. Sie beschreibt den thermodynamischen Zustand eines Systems. Da erfahrungsgemäß alle Naturvorgänge von selbst nur in dem Sinn verlaufen, dass die Wahrscheinlichkeit des neuen Zustands größer oder gleich, nie aber kleiner als die des Ausgangszustandes ist, kann die Entropie in einem System ohne äußere Einwirkung nur zunehmen oder gleichbleiben, nie aber kleiner werden. Jedes Reaktionssystem hat also die Tendenz, den Zustand größter Wahrscheinlichkeit, geringster Ordnung und damit größtmöglicher Entropie anzunehmen (CZIHAK 1992). Diese Aussagen beruhen ausschließlich auf Erfahrungen, können also nicht bewiesen werden; der zweite Hauptsatz ist damit wie der erste ein Erfahrungssatz (BERGMANN & SCHAEFER 1998).

Aussagen zur Entropie eines Systems sind z.T. mit Wahrscheinlichkeitsaussagen vergleichbar. Warum die Charakterisierung als Wahrscheinlichkeitsaussage wichtig ist, wird durch das folgende Gedankenexperiment "freie Expansion eines Gases in ein Vakuum" deutlich: Ein Behälter ist durch eine Trennwand in zwei gleich große Bereiche geteilt. Ein Gas befindet sich zunächst ausschließlich in der linken Hälfte dieses Behälters. Die rechte Hälfte ist leer. Nach Entfernen der Trennwand diffundieren die Gasteilchen auch in die rechte Hälfte, bis sie gleichmäßig verteilt sind. Diesen

Prozess bezeichnen wir als irreversibel. Denn niemand wird aufgrund seiner Erfahrungen erwarten, dass sich alle Gasteilchen wieder in ihre ursprüngliche Behälterhälfte zurückziehen. Die Entropie hat während des beschriebenen Vorgangs in dem beobachteten System offensichtlich zugenommen: Die Gasteilchen haben sich gleichmäßig verteilt, indem einige Gasteilchen "unumkehrbar" von links nach rechts gewandert sind. Diese Aussage gilt jedoch nur allgemein. Die Bewegung eines einzelnen Gasteilchens ist sehr wohl umkehrbar. Durch die nicht vorherzubestimmende Richtung der Brown'schen Molekularbewegung kann sich nämlich ein Gasteilchen von der rechten Hälfte auch wieder auf die linke Hälfte bewegen. Ist damit doch die Abnahme von Entropie möglich? Auf reale Bedingungen in der Natur bezogen, nein; denn dass sich durch das Zurückwandern nun *alle* Gasteilchen wieder ausschließlich auf einer Hälfte befinden, ist zwar statistisch gesehen möglich, jedoch mit steigender Teilchenanzahl zunehmend unwahrscheinlicher. Da aufgrund der winzigen Größe von Atomen und Molekülen in der Natur auf kleinen Volumina riesige Teilchenanzahlen zu finden sind (vgl. Textbox), kann aufgrund der gesammelten Erfahrungen in der Natur formuliert werden: In einem abgeschlossenen System nimmt die Entropie abgesehen von kleinen Schwankungen in Teilsystemen niemals ab⁴.

Wenig Masse hat schon viele Teilchen.

In 18 kg Wasser sind nach der Avogadro-Konstante $6,02 \times 10^{26}$ Moleküle enthalten. Würde man jede Sekunde ein Molekül zählen, bräuchte man für die Moleküle eines Gramms Wasser 10^{15} Jahre. Das ist fast 100 000mal solange, wie das Weltall existiert.

Bezieht man die obige Aussage bezüglich der angestrebten größten Wahrscheinlichkeit nun auf das Universum, so kann man zu dem Schluss gelangen: In weiter Zukunft werden alle Unterschiede ausgeglichen sein und eine gleichmäßige Wärme wird das Universum ausfüllen. Dieser Vorstellung zum sogenannten "Wärmetod" des Universums tritt das Faktum der ständigen Ausdehnung und damit der ständig neuen Möglichkeiten für Neuverteilungen entgegen. Das Universum läuft sozusagen immer dem Wärmetod davon. Daher nimmt die Entropie im Universum bei konstanter Energiemenge ständig zu (vgl. HAWKINGS 1992).

Natürliche Vorgänge sind - wie erläutert - irreversible Vorgänge. Sie produzieren Entropie. So kann das oben erwähnte Pendel nur theoretisch ewig potentielle in kinetische Energie umwandeln. Unter realen Versuchsbedingungen wirkt die dem System über Wärme abgeführte Energie als Bremse.

Ähnliche Phänomene zeigen sich wegen der universellen Gültigkeit der Thermodynamik auch in der belebten Natur. Muskeln wandeln chemische Bindungsenergie in Bewegungsenergie, die chlorophyllhaltigen Teile der Pflanzen wandeln beim Prozess der Photosynthese elektromagnetische Strahlung in chemische Bindungsenergie. Aber auch in lebendigen Systemen wandelt kein Umwandlungsprozess die eingeführte Energieform zu 100 Prozent in eine andere Energieform um. Wärme



Abb. 2-4: Frühblüher schmelzen sich durch die Schneedecke

(eigene Fotografie)

⁴ Plakativ ausgedrückt: Der irreversible Ablauf der Naturvorgänge besteht in dem Übergang aus einem Zustand geringerer in einen Zustand größerer Wahrscheinlichkeit.

wird als zusätzliche Energieform frei. Diese bei biochemischen Reaktionen frei werdende Reaktionswärme führt zu bekannten Effekten: Z.B. zur Körperwärme des Menschen, zum Schmelzen des Schnees um wachsende Frühblüher (vgl. Abb. 2-4) oder zur Aufheizung des Blütenstands bei Aronstabgewächsen (Die Wärmeentwicklung wird beim Aronstab zusätzlich aktiv (entkoppelte Atmungskette) gefördert, STRASBURGER et al. 1983; MORTIMER 1983.).

Dritter Hauptsatz

Der auch als "Nernstsches Wärmethorem" bezeichnete dritte Hauptsatz besagt, dass die Entropie eines Systems am absoluten Nullpunkt (0 Kelvin, ca. $-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$) einen von Druck, Volumen und anderen Zustandsgrößen unabhängigen Wert annimmt (FALK & RUPPEL 1976). Da sich der für Vorgänge des Lebendigen maßgebende Temperaturbereich weit entfernt von 0 Kelvin befindet, wird auf diesen Hauptsatz nicht näher eingegangen.

Kurzer Überblick zur Geschichte der ersten zwei thermodynamischen Hauptsätze

Der Franzose Carnot begründete 1824 mit seiner Veröffentlichung über die Gewinnung von Nutzarbeit aus Wärme eine neue Wissenschaft: die Thermodynamik. Mit Begriffen wie "vollkommene Maschine" und "reversibler Kreisprozess" legte er die gedanklichen Grundlagen für die spätere Formulierung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik. Einer seiner nicht veröffentlichten Grundgedanken war das Prinzip von der Äquivalenz von Wärme und Arbeit, wonach Wärme in Arbeit und Arbeit in Wärme unwandelbar ist. 1842 wurde dieses Prinzip von J.R. Mayer, einem praktischen Arzt aus Heilbronn, erstmals publiziert. Selbiger erweiterte 1845 seine Aussage zum allgemeinen Satz von der Erhaltung der Energie, dem heutigen ersten Hauptsatz der Thermodynamik. Unabhängig von Mayers theoretischen Überlegungen lieferte zwischen 1842 und 1848 der Privatlehrer J.P. Joule aus England die experimentellen Grundlagen zum ersten Hauptsatz. Aufbauend auf den Gedanken und Versuchen von Carnot, Mayer und Joule gelang es 1850 dem Physiker R. Clausius, die beiden Hauptsätze der Thermodynamik klar zu formulieren. Dabei führte er eine ab 1865 als Entropie bezeichnete Größe ein. Etwa zur gleichen Zeit erkannte der Professor für Naturphilosophie und theoretische Physik W. Thomson, ab 1892 Lord Kelvin, dass sich bei allen natürlichen Prozessen der Vorrat an umwandelbarer oder arbeitsfähiger Energie vermindert. Kelvin forderte aufgrund seiner Überlegungen die Existenz einer universellen Temperaturskala, die ihm zu Ehren heute seinen Namen trägt (BAEHR 1997; FALK & RUPPEL 1976).

Unterschiede zwischen physikalischer und biologischer Thermodynamik

Obwohl die Hauptsätze der Thermodynamik auf der Erde universelle Gültigkeit besitzen und damit auch für Vorgänge des Lebendigen gelten, müssen bestimmte Aussagen für biologische Betrachtungen genauer gefasst werden: Die "physikalische Thermodynamik" gilt in Organismen mit "biothermodynamischem Charakter" (TRINCER 1981). Durch die physikalische Thermodynamik können nur "makroskopische Körper" mit einer bestimmbarer Oberfläche in ihrem Zustand und ihren Veränderungen beschrieben werden. Die Aufteilung in sehr kleine Systeme, wie sie in der Biologie aufgrund der Größenverhältnisse in den Kompartimenten einer Zelle nötig ist, führt aufgrund der Heisenbergschen Unschärfe zur Nichtmessbarkeit und damit zur Nichtbeschreibbarkeit aus thermodynamischer Sicht. Ein Vergleich zwischen technischen und biologischen "Maschinen" verdeutlicht den Gedankengang: Durch den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik wird für den Ablauf einiger Prozesse eine bestimmte Richtung festgelegt. Als Maß für die Nichtumkehrbarkeit von Vorgängen wurde die Größe Entropie eingeführt. So sind die irreversiblen Vorgänge bei einer Wärmekraftmaschine durch den Übergang aus einem Zustand geringerer in einen Zustand größerer Wahrscheinlichkeit gekennzeichnet. Wärmekraftmaschinen benötigen deshalb eine Tempera-

turdifferenz um zu arbeiten. Biologische Mikromaschinen wie die Hämoglobin-Monomere arbeiten dagegen auch unter messtechnisch isothermen Bedingungen. Solche biologische Mikromaschinen nutzen für ihre Prozesse die statistische Ungleichverteilung der Teilchen im wässrigen Milieu der Lebewesen aus (LEHNINGER et al. 1994; WIESER 1986)⁵.

2.1.3 Speziell für Biologie(unterricht) relevante Aspekte der Energie

2.1.3.1 Für biologische Prozesse wichtige Energieformen

Je nach System und Vorgängen im System sind verschiedene Energieformen zu unterscheiden. Die verschiedenen Energieformen sind entweder an das Vorhandensein von materiellen Körpern und Teilchen und ihre Bewegungen und Wechselwirkungen gebunden (z.B. verschiedene Formen der mechanischen, chemischen, thermischen, elektrischen Energie sowie Kern-Energie) oder mit physikalischen Feldern verknüpft (z.B. Energie von elektrischen- oder/und magnetischen Gravitationsfeldern). Alle Energieformen können bei biologischen Vorgängen "beobachtet" werden, jedoch sind nicht alle Formen für die Lebewesen selber und für die Biologen, die das Lebendige untersuchen, gleich wichtig. In Tabelle 2-1 sind bestimmten Energieformen bestimmte Kennzeichen des Lebendigen und entsprechende biologische Phänomene zugeordnet. Ausgewählt sind von den Kennzeichen des Lebendigen Bewegung, Stoffwechsel und Erregbarkeit; die beiden Kennzeichen des Lebendigen Wachstum und Vermehrung bedürfen der zuvor genannten Kennzeichen und sind deshalb nicht einzeln aufgeführt. Die getroffene Aufteilung der Energieformen (nach PROSKE 1997) ist in Anlehnung an die Gliederung der Physik in Teildisziplinen geschehen. Sie ist nicht überschneidungsfrei. So ist z.B. die kinetische Energie bewegter Ladungen ein Teil der elektrischen Energie des betrachteten Systems. Auch reichen die Energieformen der Mechanik (potentielle und kinetische Energie) nicht aus, um mechanische Phänomene energetisch ausreichend zu analysieren. Aufgrund der Reibungsverluste muss hier auch die thermische Energie beachtet werden. Die vorgenommene Zuordnung der Energieformen erscheint trotz der Überschneidungen sinnvoll, da die Aufteilung in die Bereiche Mechanik, Elektrizitätslehre, Wärmelehre, Kernphysik und Chemie übersichtlich und damit hilfreich bei der Strukturierung energetischer Analysen in der Biologie ist.

⁵ Da bei schulischen Überlegungen zur Thermodynamik wegen fehlender präziser Instrumente in den naturwissenschaftlichen Sammlungen weder im makroskopischen Bereich der "physikalischen Thermodynamik" noch im mikroskopischen Bereich der "biologischen Thermodynamik" die konkrete Durchführung messtechnischer Versuche realistisch erscheint, kann der angedeutete Aspekte zum "biothermodynamischen Charakter" der Thermodynamik im weiteren unbeachtet bleiben.

Tab. 2-1: Erscheinungsformen der Energie und ihre biologische Relevanz

| Energieform | Erläuterungen | Biologische Relevanz |
|--|--|--|
| Chemie Chemische Energie | Die in Verbindungen gespeicherte chemische Energie ist dem Betrag nach gleich der Bindungsenergie, die nötig ist, um die Atome eines Moleküls zusammenzuhalten. | Stoffwechsel Der Energiefluss innerhalb der Organismen und derjenige zwischen Organismen innerhalb und zwischen verschiedenen Trophieebenen wird im wesentlichen durch chemische Bindungsenergie aufrecht erhalten. |
| Wärmelehre Thermische Energie | Wärme (thermische Energie) wird als kinetische Energie sich statistisch ungeordnet bewogender Moleküle verstanden. | Stoffwechsel/Erregbarkeit Alle biochemischen Prozesse in Lebewesen laufen - zumeist abhängig von Enzymen - nur in bestimmten Temperaturbereichen ab. Nötige Aktivierungsenergie wird über die Körperoberfläche durch Wärmestrahlung aufgenommen und/oder stammt von chemischen Prozessen in Organismen. |
| Kernphysik Atomare Energie und Masse-Energie | Unter atomarer Energie wird die Bindungsenergie der Atomkerne verstanden. Da die Kernenergie pro Nukleon für mittelschwere Kerne am größten ist, wird bei der Spaltung schwerer oder Verschmelzung leichter Atomkerne "Kernenergie" abgegeben. Die frei werdende Bindungsenergie wird in Form von Strahlung abgegeben (Theoretische Grundlage für die Masse-Energie-Äquivalenz ist die Einsteinsche Relativitätstheorie, nach der Materie als Form von Energie verstanden werden kann.). | Diese Energieform ist für den Energiefluss durch Lebewesen nicht relevant. Lebewesen können diese Energiequellen nicht nutzen, da sie u.a. den bei Kernspaltung bzw. Kernfusion auftretenden Temperaturen und Drücken nicht standhalten würden. Relevant sind allerdings die bei diesen Prozessen teilweise frei werdenden Strahlen in ihrer Funktion als mutagene Agenzien. Der radioaktive Zerfall wird u.a. in der Paläontologie zur Altersbestimmung und in verschiedenen Bereichen der Forschung zur Aufklärung von Stoffwechselprozessen genutzt. |
| Mechanik Mechanische Energie <ul style="list-style-type: none"> • Potentielle Energie • Kinetische Energie | Ein Körper besitzt aufgrund seiner Lage relativ zu anderen Körpern und aufgrund der auf ihn wirkenden Kräfte eine bestimmte Lage- oder potentielle Energie (potentielle Energie ist auch Deformationsenergie bei elastischen Körpern, Kompressionsenergie bei Gasen oder in Konzentrationsunterschieden gespeicherte Energie). Bewegte Körper bzw. Teilchen besitzen Bewegungs- oder kinetische Energie, die von ihrer Masse und Geschwindigkeit abhängig ist (Rotations-, Vibrations- und Translationsenergie). | Bewegung (geordnet/zweckbestimmt)⁶ Vorgänge des Lebendigen zeichnen sich durch ständigen Wechsel zwischen weniger und mehr Bewegung bezogen auf <u>makroskopische Vorgänge</u> (aktive und passive Bewegungen: Muskelkontraktion bei Tieren oder z.B. Turgor-schwankungen bei Pflanzen) und durch ständige Bewegung bezogen auf <u>mikroskopische und amikroskopische Vorgänge</u> aus (Bewegungen von/in Geweben (z.B. Nervenzellen, Aktin-Myosin) und Ionenströme/Molekülbewegungen (Carrier-Proteine, Hämoglobinmonomere)). Eine Umwandlung von potentieller in kinetische Energie findet ständig statt. |

⁶ im Gegensatz zu ungeordneter Wärmebewegung, die auch in toter Materie zu beobachten und deshalb kein Kennzeichen des Lebendigen ist

2.1.3.2 Der globale Energiefluss und der Energiefluss der Biosphäre

Hauptenergiequelle unserer Erde ist die durch Fusionsreaktionen bedingte Strahlungsenergie der Sonne. Das Bild des globalen Energieflusses wird deshalb auch im Wesentlichen durch die Sonneneinstrahlung

bestimmt, welche mit einer Leistung von $1,7 \times 10^{17}$ Watt auf die Erdatmosphäre tritt. 34% dieser Strahlung streuen direkt in den Weltraum zurück, 42% werden in der Atmosphäre und an der Erdoberfläche in Wärme umgewandelt und noch weitere 23% treiben durch Verdampfung den Wasserzyklus der Erde an. Etwa 1% umfassen Wind-, Wellen- und Strömungsenergie.

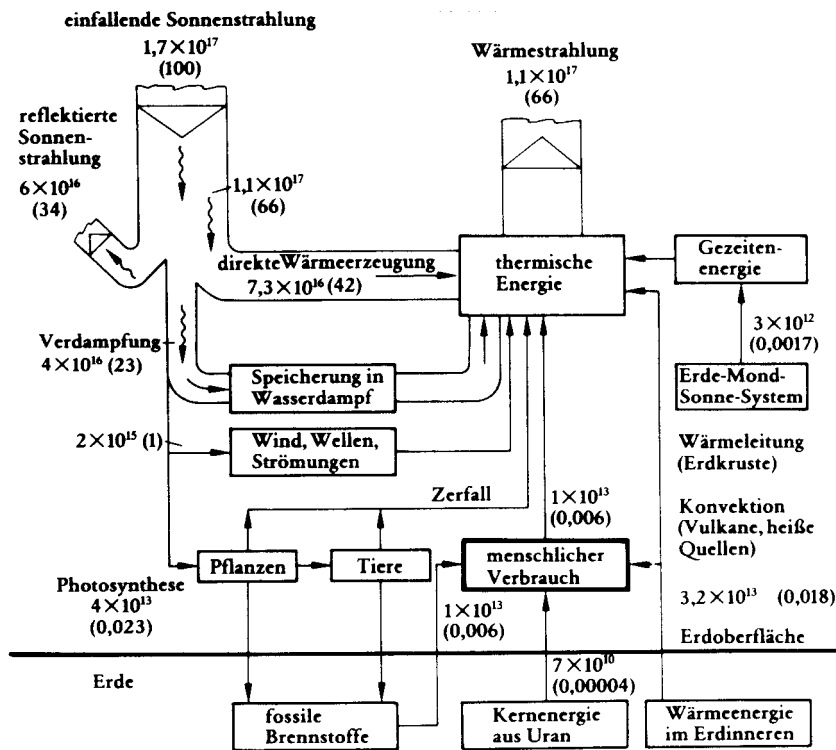


Abb. 2-5: Energiefluss auf der Erde (aus FRICKE & BORST 1984)

Ganze 0,023% der

Sonnenstrahlung (etwa 4×10^{13} Watt) werden durch photosynthesetreibende Organismen in den biologischen Energiefluss auf der Erde eingeleitet (FRICKE & BORST 1984).

Die Abbildung 2-5 verdeutlicht die wichtigsten Zusammenhänge des Energieflusses auf der Erde. Die konkreten Größenangaben zu den Energieflüssen schwanken von Lehrbuch zu Lehrbuch in engen Grenzen (z.B. BEGON, HARPER & TOWNSEND 1998; ODUM 1998).

Der Energiefluss der Biosphäre (Biosphäre = Gesamtheit aller Ökosysteme) ist an den Materiestrom gekoppelt und durch Umwandlung, Speicherung und Verteilung von Energie verschiedener Erscheinungsformen gekennzeichnet: "Während die stofflichen Komponenten der Nahrung im Ökosystem ständig zirkulieren, folgt die Energiekomponente grundsätzlich einem Durchflusssystem (...)." (CZIHAK 1992).

Die Nettoproduktion der Stoff- bzw. Energiemenge (Differenz aus Photosynthese (Bruttoproduktion) und mitochondrieller Atmung) aller Pflanzen wird dabei schrittweise über verschiedene Trophiestufen (Konsumenten aufsteigender Ordnung) und von den Destruenten fast ausschließlich in Wärme umgewandelt.

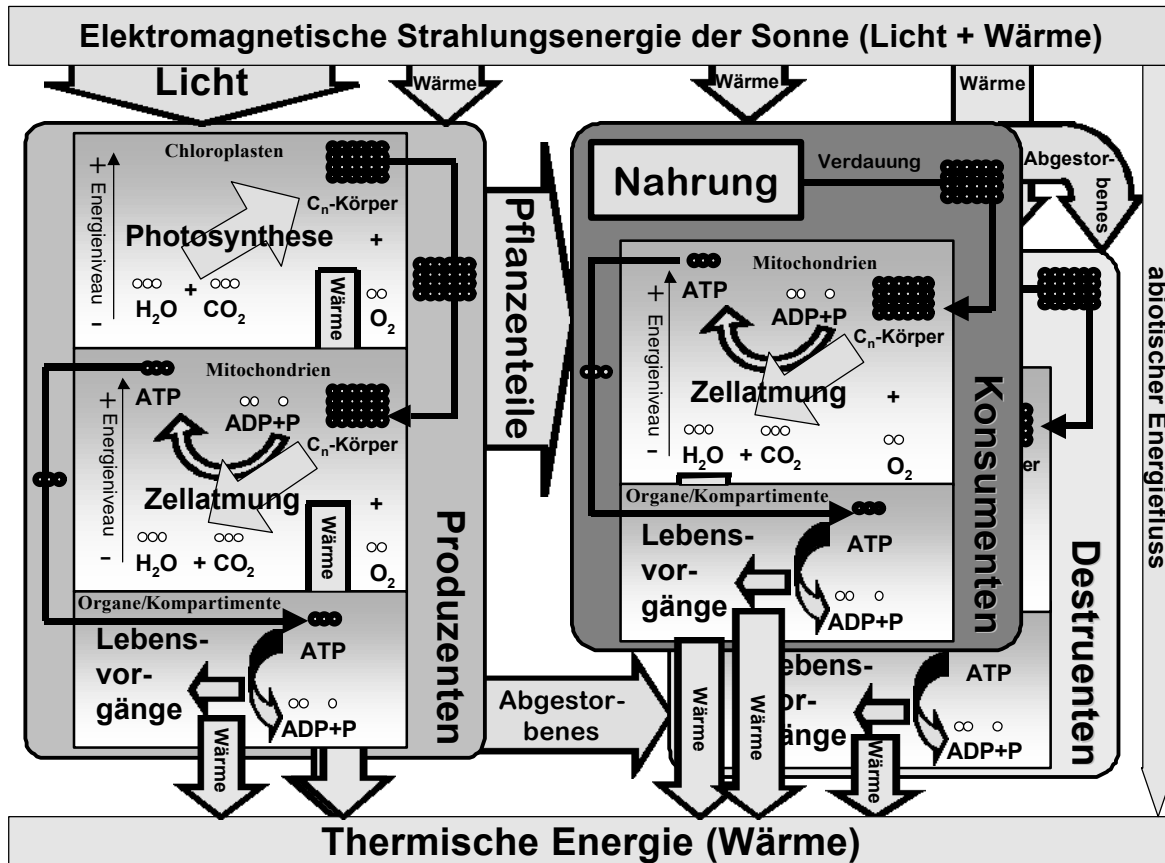


Abb. 2-6: Energiefluss in der Biosphäre

Dargestellt sind die energetischen Abläufe (Photosynthese, Zellatmung und weitere Lebensvorgänge (vgl. letzter Absatz der Bilderläuterung), zusammengefasst jeweils in Rechtecken mit Graustufenverlauf im Hintergrund) von Produzenten, Konsumenten und Destruenten (Rechtecke mit abgerundeten Ecken).

Der Weg der Energie im biotischen Energiefluss kann über die fett umrandeten Pfeile und Symbole von der Lichtenergie über die C_n -Körper, das ATP, die Lebensvorgänge und Wärmeabgabe der Produzenten sowie über die Weitergabe der Energie über Konsumenten und Destruenten bis hin zur vollständigen Wandlung der ursprünglich mit der Lichtenergie aufgenommenen Energiemenge zu thermischer Energie (Wärme) verfolgt werden. Die Pfeilstärken sind aus graphischen Gründen nicht proportional zur Energiemenge. Die biochemischen Abläufe sind stark vereinfacht. So ist z.B. der im Vergleich zur Gesamtausbeute der Zellatmung geringe ATP-Gewinn außerhalb der Mitochondrien nicht dargestellt.

Die die Organismen durchströmende Energie wird für Lebensvorgänge genutzt, die hauptsächlich den drei folgenden Abläufen zugeordnet werden können:

1. Synthese von Makromolekülen aus einfachen Vorstufen;
2. Aktiver Transport von Molekülen und Ionen;
3. Ausführung mechanischer Arbeit bei zellulären Bewegungen und Muskelkontraktion (vgl. z.B. STRYER 1987).

Da einer Trophieebene nur die Nettoproduktion einer darunterstehenden Ebene als Stoff- und Energiequelle zur Verfügung steht (also nur die beim Wachstum in körpereigene Substanz gespei-

cherte Energie), nehmen sowohl die Energiemenge als auch die Biomasse mit steigender Trophieebene ständig ab⁷, die Entropiemenge nimmt dagegen von Ebene zu Ebene zu (vgl. Abb. 2-7).

Aufgrund dieser Aussagen kann Leben als eine Umleitung der Lichtenergie hin zur Wärme (vgl. Abb. 2-6) verstanden werden, von kurzweiligerer Sonnenstrahlung über biologische Kreisläufe zu längerweiligerer Wärmestrahlung (GATES 1971; ODUM 1998; SCHLICHTING 1989).

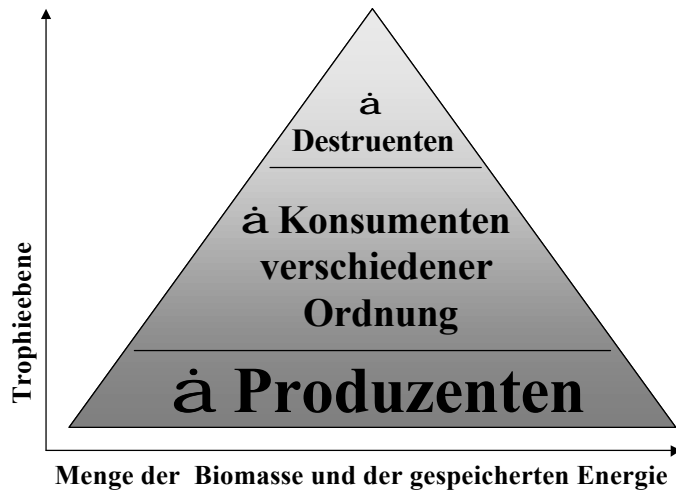


Abb. 2-7: Energie- und Biomassenpyramide eines Ökosystems

ZWÖLFER (1982) beschreibt zwei Typen von Energiefluss, die für die Aufrechterhaltung von Ökosystemen entscheidend sind:

Der Energietyp I des Energieflusses umfasst die durch die Photosynthese der grünen Pflanzenteile in chemisch gebundene Energie umgewandelte Strahlungsenergie der Sonne, die an Nahrung gebunden durch die Trophieebenen geschleust wird (vgl. Abb. 2-6).

Der Energietyp II des Energieflusses umfasst die "ökologische Zusatzenergie". Diese Energie, die nicht in die Nahrungsketten eingeht, ist eine notwendige Voraussetzung für die Entwicklung und Erhaltung der Infrastruktur der Ökosysteme. Gemeint sind mit der Infrastruktur der Ökosysteme einige der globalen Stoffkreisläufe (u.a. Wasserkreislauf), meteorologische Prozesse (u.a. Luftbewegungen), die wohltemperierte Umgebung und die Bereitstellung von Mineralien durch Verwitterung von Gesteinen. Die "ökologische Zusatzenergie" wird zum größten Teil ebenfalls von der Sonnenstrahlung geliefert, weitere Teile stammen aus radioaktiver Erdstrahlung.

2.1.3.3 Die Rolle der Energie bei der Aufrechterhaltung biologischer Systeme

Organismen zeichnen sich durch eine mehr oder weniger feste Gestalt und damit durch einen hohen Ordnungsgrad aus. Die Entstehung einer geordneten biologischen Struktur ist thermodynamisch nur deshalb möglich, weil die Abnahme der Entropie des Organismus geringer ist als die Zunahme der Entropie der Umgebung (STRYER 1987). Lebewesen können sich der Tendenz zu ständig zunehmender Entropie nur dadurch entziehen, dass sie einen durch sie verlaufenden Energiefluss aufrechterhalten (vgl. Abb. 2-8). Der Lebensvorgang zwingt quasi dem Energie-

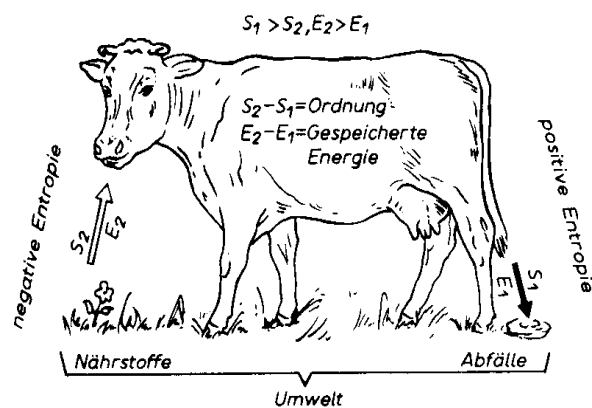


Abb. 2-8: Der Organismus als Entropiepumpe (aus STÖCKER et al. 1986)

⁷ Der Energietransfer zwischen Trophiestufen schwankt nach Angaben von BEGON, HARPER & TOWNSEND (1998) in limnischen und marinen Biozönosen zwischen 2 und 24 %, wobei der Durchschnitt bei etwa 10 % liegt (ODUM 1998).

strom hin zur thermischen Energie einen Umweg über die Organismen auf und bewirkt damit eine von Ort zu Ort unterschiedliche Entropiezunahme. Die materielle Ordnung der Organismen ist als eine Zwischenstufe des Energieflusses von "hochwertiger" Energie zu "gleichmäßig verteilter", deshalb für Lebewesen nicht nutzbarer und damit wenig wertvoller thermischer Energie zu verstehen.

Lebende Zellen und aus Zellen aufgebaute Organismen wie Pflanzen, Tiere oder Menschen können dabei als "offene Systeme" im "geschlossenen System Universum" verstanden werden (LEHNINGER et al. 1994). Vorgänge des Lebendigen (Bewegung, Stoffwechsel, Erregbarkeit, Wachstum und Vermehrung) sind möglich, weil Organismen energiereiche Stoffe (zumeist Teilsysteme nicht maximalen Entropiegehalts) aufnehmen, umwandeln und andere energieärmere Stoffe wieder abgeben. Für die dabei ablaufenden Prozesse gelten die Hauptsätze der Thermodynamik. Die Evolution der Lebewesen stellt die Vervollkommnung des über sie umgeleiteten Energiestromes zur Schaffung struktureller Ordnung und somit die Vervollkommnung des Stoffwechsels dar (DÄMMGEN 1977; WIESER 1995). Organismen, denen es gelingt, aus ihren Substraten mehr Energie als andere Organismen der gleichen Entwicklungsstufe für ihre Lebensvorgänge zu nutzen, können sich erfolgreicher vermehren und damit Konkurrenten um Lebensraum und Nahrung allmählich verdrängen (BICKEL-SAND-KÖTTER & BICKEL 1999). Ein Beispiel für die Vervollkommnung des Energiestoffwechsels ist, bezogen auf die den Organismen zur Verfügung gestellten Energiemengen aus dem Substrat Glucose, die Entwicklung von der Gärung zur Atmung (LEHNINGER et al. 1994).

Die wichtigste thermodynamische Größe zum Verständnis der Energetik des Stoffwechsels ist die "freie Enthalpie". Die freie Enthalpie ist ein Maß für die Kapazität eines Systems, bei konstantem Druck nutzbare Arbeit zu leisten. Da die Stoffwechselreaktionen in Lebewesen unter solchen isobaren Bedingungen ablaufen, gibt die freie Enthalpie die nutzbare Energie eines lebenden Systems an. Zu unterscheiden sind die "freie Enthalpie" und die "Enthalpie". Erläuterungen aus dem Bereich der Biochemie: Jede chemische Reaktion ist mit einer Energieänderung verbunden, weil jede der beteiligten Substanzen einen "inneren Energiebetrag" enthält, der sich bei der Umwandlung vermehrt oder vermindert. Dieser Energiebetrag wird Enthalpie genannt. Die Enthalpie einer Substanz setzt sich zusammen aus den Energiebeträgen der Teilchen in den Kernen der beteiligten Atome, den Bewegungsenergien der Elektronen und den Bindungsenergien (HASSINGER & WIEBUSCH 1989)⁸. Bei den Stoffwechselreaktionen in Lebewesen steht jedoch nicht die gesamte Enthalpie der beteiligten Substanzen als nutzbare Ar-

Steht die Faltung der Proteine im Widerspruch zur generellen Zunahme der Entropie?

Bei der Entstehung der Proteine läuft die Faltung zur Tertiärstruktur, obwohl mit einer Erniedrigung der Entropie verbunden, freiwillig ab. Dieser scheinbare Widerspruch zum zweiten Hauptsatz wird entkräftet, wenn die bei der Faltung betroffenen Wassermoleküle in die Energiebilanz mit einbezogen werden. Viele dieser Moleküle werden nämlich von den Aminosäuren getrennt. Das Freiwerden bedeutet einen Wegfall von Ordnung. In der Bilanz ist diese Erhöhung der Entropie auf Seiten der Wassermoleküle größer als die Erniedrigung der Entropie auf Seiten der neu entstehenden Proteinstuktur (KINZEL 1989).

Die Entropie eines *offenen* Systems kann also bei spontanen Prozessen zunehmen, aber auch abnehmen (wie hier bei der Faltung eines Proteins). Im *geschlossenen* System (wie hier bei der Einbeziehung der Umgebung des sich faltenden Proteins) kann der Gesamtgehalt der Entropie stets nur zunehmen (vgl. S. 26).

⁸ Die Energiebeträge sind absolut gesehen nicht messbar. Deshalb werden bei energetischen Betrachtungen nur die Veränderungen der Energiebeträge vor und nach einer Reaktion berücksichtigt.

beitsenergie zur Verfügung. Die nutzbare Energie, die freie Enthalpie, ergibt sich, wenn die Enthalpieänderung eines Reaktionssystems um die temperaturabhängige Entropieänderung vermindert wird.

Die freie Enthalpie, die maximale Arbeitskapazität des analysierten Systems, ist also kleiner als die Gesamtenergie des Systems (CAMPBELL 1997). Nur Vorgänge, die mit einer Abnahme der freien Enthalpie und damit Zunahme der Entropie des Systems verbunden sind, laufen spontan ab (vgl. Textbox, S. 25), nicht aber unbedingt schnell. Sie werden als exergonische Prozesse bezeichnet. Endergonische Prozesse, also Abläufe, die die freie Enthalpie eines Teilsystems erhöhen, werden nur durch den vorherigen (oftmals räumlich und zeitlich getrennten) Ablauf eines exergonischen Prozesses ermöglicht. Derartige energetische Kopplungen sind in biologischen Systemen zum einen in Reaktionsketten möglich, indem eine endergonische Reaktion mit einer stärker exergonischen verbunden ist, und zum anderen durch das Einschalten einer energieliefernden bzw. energieaufnehmenden Reaktion, nämlich der hydrolytischen Spaltung v.a. des ATP-Moleküls zu ADP und organischem P bzw. des umgekehrten Prozesses (LEHNINGER et al. 1994; STRASBURGER et al. 1983). ATP ist der universelle Träger der freien Enthalpie aller Lebewesen⁹. Bei seiner Hydrolyse wird die elektrostatische Abstoßung zwischen den negativ geladenen Gruppen des Moleküls vermindert und deshalb Energie frei. ATP steht hinsichtlich der biologisch relevanten Bindungsenergien zwischen den Diphosphatverbindungen, die in der Glykolyse beim Abbau von Kohlehydraten entstehen und aufgrund ihres höheren Gruppenübertragungspotentials ihre Energie auf das ADP weitergeben, und den Verbindungen, die durch Spaltung des ATP ihre nötige Energie zur Entstehung erhalten. Diese Position ermöglicht die Funktion des ATP als Energie-Carrier (vgl. z.B. CAMPBELL 1997; STRYER 1987).

Eine die aufgeführten Kenntnisse zusammenfassende Charakterisierung aus energetischer Sicht von lebenden Organismen als offene Systeme in Abgrenzung zu geschlossenen Systemen könnte lauten:

In geschlossenen Systemen, in Systemen, die keinen Materieaustausch mit der Umgebung betreiben, können sich in Bezug auf betrachtete Prozesse Gleichgewichte (z.B. von Hin- und Rückreaktion oder bei der Verteilung von Stoffen) einstellen. Der Gleichgewichtszustand ist dabei dadurch gekennzeichnet, dass die Änderung der inneren Enthalpie Null ist und dadurch das System keine Arbeit verrichten kann, weil die maximale Entropie erreicht ist.

Zur Verdeutlichung ein Beispiel aus der Mechanik: Betrachtet wird eine Kugel, die im tiefsten Punkt einer gewölbten Schüssel ruhig liegt. In diesem stabilen Gleichgewichtszustand hat die potentielle Energie des Systems (Kugel-Schüssel) ein Minimum. Die Energiemenge ist kleiner als in jeder benachbarten Lage. Eine derartige kleinstmögliche potentielle Energiemenge ist auch der Grund dafür, dass ruhende Wasseroberflächen horizontal sind: Ein System aus Wasserteilchen kann zwar theoretisch jede Oberflächengestalt annehmen, bei horizontaler Oberfläche ergibt sich jedoch die kleinste potentielle Energie. Für jede andere Form, z.B. eine Welle, muss Energie aufgewendet werden.

Lebende Systeme sind thermodynamisch offene Systeme. Der Zustand des stabilen, energetisch statischen Gleichgewichts ist für sie nicht kennzeichnend, da während ihrer Stoffwechselprozesse umzusetzende Substanzen ständig zugeführt und gebildete Produkte abgegeben werden. So schafft der Organismus eine Situation, in der das chemische Reaktionssystem dauerhaft freie Enthalpie zur Verfügung stellt.

⁹ ATP ist jedoch nicht der "Speicherstoff" der Energie. Wegen der begrenzten Anzahl der ATP-Moleküle pro Zelle ist eine hohe Umsatzrate zu beobachten. Die Aufgabe der Energiespeicherung übernehmen komplexe Moleküle, besonders Fette (STRYER 1987).

Die ablaufenden Reaktionen im Organismus streben zwar einem Gleichgewichtszustand entgegen, erreicht ihn aber während der Lebenszeit des Organismus nicht. Auf das oben genannte Beispiel System "Kugel-Schüssel" bezogen wird die Kugel (hier Bewegung gleich Lebensvorgänge) ständig durch Auf- und Abbewegungen des Schüsselrandes (Stoffaufnahme und -abgabe) in Bewegung gehalten. Das dem Gleichgewichtszustand Zustreben (Kugel liegt ruhig in der Mitte) kann als die Triebfeder aller Vorgänge des Lebendigen gelten. Ein Beispiel aus dem Zellstoffwechsel: Die gesamte Reaktionsabfolge der Zellatmung wird von dem großen Unterschied an freier Enthalpie zwischen Glucose am Beginn sowie Wasser und Kohlenstoffdioxid am Ende angetrieben. Die einzelnen Reaktionen streben zwar dem energetisch stabilen Gleichgewichtszustand entgegen, durch die Verkettung der einzelnen Prozesse und durch die ständige Stoffaufnahme- und abgabe wird dieser Zustand jedoch während des Lebens nicht erreicht.

Der Stoffaustausch zwischen Lebewesen und ihrer Umwelt befindet sich bei ausgewachsenen Organismen in einem Fließgleichgewicht. Lebewesen (bzw. Zellen bestimmter Organe) weisen deshalb zumeist relativ konstante Konzentrationen der sie charakterisierenden Stoffe auf.

Organismen nehmen bei ihren Austauschvorgängen mit der Umwelt während ihrer Lebenszeit in der Bilanz mehr freie Enthalpie auf als sie speichern können (Energie"verluste" durch Wärmeabgabe), vergrößern also die Entropie. Anders formuliert: Lebewesen können die sie charakterisierende Ordnung nur deshalb aufbauen, weil sie die Entropie der Umgebung vergrößern. Bei der Unterbrechung der Energiezufuhr bricht das Fließgleichgewicht zusammen, und das System erreicht nach einiger Zeit das thermodynamische Gleichgewicht, den Tod (MORTIMER 1983). Die wesentliche Aufgabe des Stoffwechsels kann demnach darin gesehen werden, den Organismus von der Entropie zu befreien, die er im Laufe seines Lebens dauernd erzeugt.

Die Energiebilanz eines Lebewesens, der Quotient aus dem mit der Nahrung aufgenommenen Energiebetrag und dem bei der Nahrungsbeschaffung aufgewandten Energiebetrag, muss über einen längeren Zeitraum betrachtet, so dass Hungerphasen ausgeglichen werden, zumindest den Wert eins haben. Ein kleinerer Energiebilanzwert führt zum angesprochenen thermodynamischen Gleichgewicht (Tod), da das Lebewesen dann mehr Energie zum Nahrungsgewinn aufwenden muss als durch Nahrungsaufnahme bereitgestellt wird (BOJUNGA 1985). Die zum Leben nötige Energiemenge ist von der Morphologie und Ethologie jedes einzelnen Lebewesens abhängig (vgl. u.a. Bergmann'sche Regel).

Lebensvorgänge und Temperaturregulation

Ein weiterer entscheidender Faktor für die Biologie ist neben der durch den zweiten Hauptsatz festgelegten Reaktionsrichtung die Geschwindigkeit, mit der ein Prozess abläuft. So ist z.B. die Verbrennung von Glucose mit Sauerstoff zwar ein stark exergonischer Prozess, doch bleibt der Zucker bei "physiologischen" Temperaturen und Normaldruck auch bei Sauerstoffgegenwart unbegrenzt stabil. Man nimmt an, dass nur Moleküle in einem "aktivierten Zustand" eine chemische Reaktion eingehen können. Eine Steigerung der Temperatur erhöht die Zahl der reaktionsfähigen Moleküle und beschleunigt deshalb die Reaktion (CAMPBELL 1997, MOISEL 1986). Diese Reaktionssteigerung im physiologischen Temperaturbereich um etwa das Doppelte bei einem Temperaturanstieg von 10 °C wird als Q_{10} -Wert angegeben. Im Zellstoffwechsel übernehmen aus energetischen Gründen (bei zu hohen Temperaturen würden Proteine denaturieren) Enzyme die Aufgabe, die Aktivierungsenergie für eine Reaktion zu erniedrigen. Sie ermöglichen damit erst bestimmte biochemische Abläufe. Durch regulierbare Enzymkonzentrationen und -aktivitäten ist so eine Steuerung des Stoffwechsels möglich (ASCHOFF et al. 1971).

Wärme ist nach dem Erläuterten für alle Lebewesen zum einen ein Abfallprodukt, da kein Lebewesen in der Lage ist, diese Energieform in eine andere evtl. nützlichere Energieform umzuwandeln (z.B. Bewegungsenergie). Thermische Energie kann nicht zum Aufbau von Ordnung genutzt werden. Sie wird zumeist bei Poikilothermen ungehindert, bei Homoiothermen durch Isolationsmechanismen (z.B. Fettschichten) verlangsamt an die Umgebung abgegeben. Zum anderen ist Wärme für viele Lebensformen ein wichtiger Umweltfaktor. Insbesondere stenöke Arten, deren Stoffwechsel an einen schmalen Temperaturbereich angepasst ist, müssen verstärkt versuchen, ihren Wärmehaushalt durch Thermoregulation in einem für den Stoffwechsel förderlichen Bereich zu halten. Die zur Thermoregulation der Lebewesen möglichen Prozesse zum Wärmeaustausch zwischen Organismus und Umgebung sind:

1. Konduktion,
Übertragung von thermischer Energie durch direkte Berührung zwischen Molekülen der Umgebung und solchen der Körperoberfläche;
2. Konvektion,
Wärmeaustausch durch Bewegung von Luft oder Flüssigkeiten über eine Körperoberfläche;
3. Strahlung,
Absorption elektromagnetischer Wellen;
4. Verdunstung,
Wärmeabgabe an der Oberfläche einer Flüssigkeit (z.B. Schweiß).

Die Thermoregulation kann dabei durch physiologische und ethologische Anpassungen erfolgen: Hecheln, Schwitzen und Baden zur Beeinflussung der Verdunstungskühlung, Veränderung der Körperoberfläche zur Beeinflussung der Wärmeaustauschrate (Isolation durch Haare, Federn und Fettgewebe, Veränderung der Hautdurchblutung), aktives Aufsuchen von Orten angenehmen Klimas und Veränderung der Produktionsrate von Stoffwechselwärme (Kältezittern und zitterfreie Thermogenese) (CAMPBELL 1997; KINZEL 1989; WIESER 1986).

2.2 Fachdidaktische Grundlagen: Überlegungen zur verstärkten Berücksichtigung der Thematik Energie im Biologieunterricht

2.2.1 Vier Argumentationsstränge zur Legitimation einer verstärkten Berücksichtigung der Thematik Energie im biologischen Kontext

Vorbemerkung: Nachfolgend geht es nicht darum, zu begründen, warum es wichtig sein könnte, konkrete Ziele zu möglichen Unterrichtseinheiten zur Energiethematik zu formulieren, sondern, warum es allgemein wichtig und lohnenswert ist, energetische Aspekte als eine zusätzliche Betrachtungsebene biologischer Vorgänge einzusetzen, um Zusammenhänge innerhalb der Biologie und zwischen der Biologie und anderen Fachbereichen zu verdeutlichen und damit ein besseres Verstehen zu ermöglichen

2.2.1.1 Argumentationsstrang 1:

Der Unterrichtsinhalt Energie hat eine Gesellschafts-, Fach- und Schülerrelevanz.

Seit der Etablierung der allgemeinen Didaktik als Wissenschaft im 17. Jahrhundert sind verschiedene Modelle und Theorien entstanden, die sich bei unterschiedlicher Akzentuierung im wesentlichen mit vier Aspekten institutionalisierten Lehrens und Lernens auseinandersetzen: *Inhalt* (Was soll gelehrt und gelernt werden?), *Vermittlung* (Wie soll gelehrt und gelernt werden?), *Beziehung* (Wie interagieren die an Lehr- und Lernprozessen beteiligten Personen?) und *Ziel* (Wozu wird etwas gelehrt und gelernt?). Je nach Gewichtung können die Ideen der verschiedenen Autoren oder Autorenkreise verschiedenen Hauptströmungen didaktischer Überlegungen zugeordnet werden, u.a.: Bildungstheoretische Didaktik (WENIGER, KLAFKI), Informationstheoretische-kybernetische Didaktik (v. CUBE), Lerntheoretische Didaktik (SCHULZ & HEIMANN) (vgl. BLANKERTZ 1973; HEURSEN 1989). Jede dieser allgemeindidaktischen Hauptströmungen findet ihre Konkretisierung in Fachdidaktiken und dort in vielfältigen konkreten Hinweisen zur Unterrichtsgestaltung. Weder die Didaktiken noch die dadurch angeregten themenrelevanten Veröffentlichungen zur Unterrichtsgestaltung können im Rahmen dieser Arbeit angemessen dargestellt und analysiert werden. Zur Legitimation des Unterrichtsinhalts "Energie" auf Grundlage theoretisch didaktischer Überlegungen sind deshalb ausschließlich die Gedankengänge zu den beiden für dieses Kapitel wesentlichen Aspekten "Inhalt" und "Ziel" aus den aktuellen biologischen Fachdidaktiken von BERCK (1999) ELLENBERGER (1993), ESCHENHAGEN, KATTMANN & RODI (1998) und STAECK (1995) zusammenfassend dargestellt.

Alle vier Didaktiken erarbeiten Kriterien, durch deren Anwendung die Entscheidung zur Auswahl von Unterrichtsinhalten und Unterrichtszielen möglichst umfassend begründet wird. Gemeinsam ist ihnen, dass die dabei notwendigen Entscheidungen in die abstrakten Bereiche Gesellschaftsrelevanz, Fachrelevanz und Schülerrelevanz eingeteilt werden. Diese Bereiche gehen auf TYLER (1973) zurück. Sie sind nicht selbst als Entscheidungskriterien aufzufassen, sondern lediglich als Quellen zur Gewinnung relevanter Kriterien zur Formulierung sinnvoller Unterrichtsinhalte und -ziele zu verstehen. In der folgenden Tabelle 2-2 werden diese drei "Curriculum-Determinanten" näher erläutert, und die Argumente für die Berücksichtigung der Energiethematik im Biologieun-

terricht (sowohl als Analyseaspekt als auch als eigenständiges Thema im Bereich der Energieversorgung, vgl. auch Kap. 5) werden getrennt nach natur- und gesellschafts-geisteswissenschaftlichem Begriffssystem zugeordnet. Das Auswählen der Argumente geschieht dabei in Anlehnung an das von HÄUBLER & LAUTERBAUCH (1976) entwickelte Raster der Gesichtspunkte für die Inhaltsauswahl im naturwissenschaftlichen Unterricht.

Tab. 2-1: Argumente für die Berücksichtigung der Energiethematik im Biologieunterricht

| Didaktisches Auswahlkriterium | Begriffssystem | |
|--|---|---|
| | Naturwissenschaft | Gesellschaftswissenschaft Geisteswissenschaft |
| Aufgeführt sind Anforderungen, die das Auswahlkriterium kennzeichnen. | Aufgeführt sind, getrennt nach den beiden Begriffssystemen, wichtige übergreifende Erkenntnisse, die Biologieunterricht durch das Erarbeiten bzw. Vertiefen der Energiethematik vermitteln kann. | |
| Gesellschaftsrelevanz Anforderungen, die aus den gesellschaftlichen, sozialen, ökonomischen und politischen Bedingungen resultieren und die allgemeingültige Normen der Gesellschaft berühren. | Energie tritt in verschiedenen Formen auf und kann von Lebewesen und Maschinen hinsichtlich der Qualität und Quantität unterschiedlich umgewandelt/genutzt werden. | Art und Menge von Energieumwandlung bestimmt einen Teil der Lebensqualität des Menschen. Nachhaltiger Umgang mit natürlichen Ressourcen bedeutet in Bezug auf Energie: Energieumwandlung technisch und ökonomisch so gestalten, dass Kosten und Nebenwirkungen auf Dritte minimal sind. |
| Fachrelevanz Anforderungen, die aus der Fachwissenschaft Biologie und den naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen und Denkformen entspringen. | Wissen über Energie dient der Beschreibung, dem Verstehen und damit dem Vorhersagen von Naturabläufen und ist somit eine Voraussetzung für Menschen, um die Natur besser nutzen zu können. Die Analyse energetischer Aspekte biologischer Phänomene verdeutlicht die Zusammengehörigkeit der Naturwissenschaften untereinander. | Die Energiemenge, die Lebewesen sich aus den Ressourcen ihrer Umwelt zu Nutzen machen können, ist eine entscheidende Triebfeder der biologischen und kulturellen Evolution. |
| Schülerrelevanz Anforderungen, die aus den altersspezifischen Interessen und Bedürfnissen der Schüler herrühren. | Das wiederholte Betrachten energetischer Aspekte von Phänomenen führt zu einem gut strukturierten und deshalb leicht zu lernenden, gut zu behaltenden und kontextflexibel anzuwendenden Wissen über Energie (Energieumwandlung = Roter Faden zwischen den Teildisziplinen der Biologie und den Naturwissenschaften). | Energie"verbrauch" ist ein ökonomisch/ökologisch sinnvolles Auswahlkriterium für Lebensgestaltung in Industriegesellschaften - z.B. als Maßstab beim Kauf technischer Geräte. |

Zusätzlich zu den oben genannten Überlegungen sprechen - wie bereits angedeutet - die Ideen WAGENSCHAINS (1973) zum "Prinzip des Exemplarischen bei der Themenauswahl" für die Be-

schäftigung mit dem Energiebegriff und den mit ihm verbundenen Theorien: Zumindest die von BERCK (1996) noch einmal zum "Prinzip des Exemplarischen" herausgearbeiteten Kriterien des "Elementaren" (grundlegende Inhalte der Wissenschaft) und des "Fundamentalen" (Fragen, die unser Selbstverständnis betreffen; Inhalte, die Stellung des Menschen in der Welt in einem neuen Licht zeigen) scheinen bei der Energiethematik erfüllt zu sein.

Des Weiteren haben die Erkenntnisse zu Energie (Thermodynamik) als fundamentale und universell transferierbare Unterrichtsinhalte auch unter dem von BERCK (1999) für Lehrer zur geeigneten Themenauswahl geforderten "biophilosophischen und wissenschaftstheoretischen Wissen" Bestand¹⁰.

2.2.1.2 Argumentationsstrang 2:

Die Relevanz der Energiethematik im Biologieunterricht leitet sich von der Rolle der Energie bei der historischen und zukünftigen Entwicklung des Lebens und der menschlichen Zivilisation ab.

Der Umgang mit Energie im Sinne von Treibstoff hat während der Entwicklung des Lebens und der menschlichen Zivilisation auf der Erde einen schwankenden, insgesamt betrachtet jedoch einen stark wachsenden Einfluss.

Um diese Behauptung zu begründen, wird unter energetischen Gesichtspunkten die Entstehung des Lebens auf der Erde und die Evolution der Organismen bis zum Menschen des Jahres 2000 skizziert: Als vor etwa 4,6 Mrd. Jahren die Erde entstand, waren Lebensformen, wie wir sie heute kennen, aufgrund der Umweltbedingungen unmöglich. Erste, sehr einfache Lebensformen sind im Übergang von der chemischen zur organismischen Evolution vor ca. 4 Mrd. Jahren entstanden. Diese als Protobionten bezeichneten Urlebewesen zeigten bereits einige Merkmale des Lebendigen, nämlich Vermehrung und Stoffwechsel. Schon in diesem frühen Stadium der Lebensentwicklung herrschte Konkurrenzkampf um die Ressource Energie. Nur wer die besten Energieverwertungsmöglichkeiten aufweisen konnte, bzw. neue Formen der Energiebeschaffung erschloss, hatte die Chance, zu überleben und sich zu vermehren. Aus Sichtweise der einzelnen Organismen ist Energie - trotz der auf dem Globus im Überfluß vorhandenen freien Energie (vor allem in Form von Sonnenstrahlen) - ein knappes Gut, das mit Aufwand erschlossen werden muss. Das Nutzen der Energiequelle Licht mittels lichtabsorbierender Farbstoffe, eine neue Form der Energiebeschaffung sowie Vorläufer der heutigen Photosynthese, entstand aufgrund einer Nahrungskrise vor ungefähr 3,5 Mrd. Jahren und sicherte damals seinen "Erfindern" das Überleben (BRESCH 1988). Auch heute noch sind Energiebeschaffung (Nahrungserwerb) und Energieverwertungsgrad für die

¹⁰ Eine weitere Möglichkeit den Unterrichtsinhalt Energie im Fach Biologie zu legitimieren bestünde darin, sich direkt auf die verschiedenen Forschungsansätze zu stützen, die sich mit der Auswahl von Unterrichtsinhalten der naturwissenschaftlichen Fächer beschäftigen. DUIT & HÄUBLER (1998) unterscheiden Ansätze, die an psychologischen Kategorien (A und B) oder an sozialtechnologischen Verfahren orientiert sind (C und D): A) Prozessorientierte Ansätze stellen die Teilfähigkeiten naturwissenschaftlichen Untersuchens wie beobachten, klassifizieren, Hypothesen formulieren und testen und damit den Prozesscharakter naturwissenschaftlichen Denkens und Handelns in den Vordergrund (GAGNÉ 1965; KLOPFER 1971); B) Strukturorientierte Ansätze orientieren die Inhalte und die Organisation des Unterrichts an der "Struktur der Disziplin"; Übergreifende Aussagen zu Auswahlkriterien für Unterrichtsinhalte sind für die Verfahren C und D nicht möglich, da diese Ansätze methodenorientiert sind und je nach diskutiertem Fach (-Bereich) diesbezüglich zu unterschiedlichen Aussagen gelangen C) Durch Delphi-Studien entwickelte Aussagen zu wünschenswerten Bildungsinhalten sind im deutschen Sprachraum im Fach Physik (HÄUBLER, FREY, HOFFMAN, ROST & SPADA 1980, Konzepte physikalischer Bildung) und im Fach Biologie (MAYER 1992, Formenkenntnis) entwickelt worden; D) Durch Curriculumkonferenzen entwickelte Konzepte zur Rechtfertigung von Bildungsinhalten.

Die Forschungsansätze A, B und D sind im Rahmen dieser Arbeit zur Legitimation der interdisziplinären Energiethematik nicht verfolgt worden, da die "Curriculum-Determinanten" nach Ansicht des Autors die wesentlichen Erkenntnisse der verschiedenen Ansätze vereinen. Auf die Idee des Strukturorientierten Ansatzes C wird in Kapitel 5 zurückgegriffen (Entwicklung von Leitlinien zu "Energie im biologischen Kontext" - der Begriff "Energie" als ein die Fachbereiche der Disziplin Biologie verbindender und damit die Struktur des Faches prägender Terminus).

Organismen ein wesentlicher Evolutionsfaktor (KAPLAN 1985). Allein der Mensch hat es durch die Entwicklung seines Verstandes geschafft, andere als die in der Nahrung gespeicherte Energie zu nutzen.

Mit der Beherrschung des Feuers vor weit mehr als 250 Tausend Jahren begann für die Spezies Mensch ein neues Zeitalter. Das Feuer war ein erstes Mittel, das den Menschen von seiner Umwelt unabhängiger machte (vgl. Abb. 2-2, S. 12). Es wurde zur Voraussetzung und Grundlage eines riesigen Bereichs technischer Errungenschaften (SALZA 1993). Von diesem Zeitpunkt an trat die biologische Evolution mehr und mehr in den Hintergrund (so hat sich z.B. das Gehirnvolumen in den letzten 50 000 Jahren nicht mehr verändert (STRICKBERGER 1988)). Vorrangig wurde von nun an die kulturelle und hier vor allem die technische Evolution. Allein die viel kürzere Generationszeit (Informationen werden im Computerzeitalter in Millisekunden ausgetauscht und kombiniert) macht dabei den wohl uneinholbaren Vorsprung der kulturellen Evolution deutlich. Lange Zeit wurden die "neuen" Energiequellen als Antrieb für im weitesten Sinne arbeitserleichternde Maschinen genutzt. Bei diesen technischen Geräten wurde jedoch nicht besonders auf den Wirkungsgrad der Energienutzung geachtet: Als beeindruckendes Beispiel für diese Aussage mögen amerikanische Straßenkreuzer mit einem Kraftstoffverbrauch von über 20 Litern pro 100 Kilometer dienen. Diese Straßenkreuzer zeigen zudem deutlich, dass bis vor wenigen Jahrzehnten Energieverschwendung kein Auswirkungen zeigendes Thema in der Öffentlichkeit war. Bis zu dieser Zeit gab es, von Notsituationen, wie sie z.B. im Krieg auftreten, abgesehen, keinen Grund, die Energieverschwendung einzudämmen. Energie schien quasi unbegrenzt und damit billig zur Verfügung zu stehen. Erst der mit der Industrialisierung einsetzende, stetig steigende Energieverbrauch und die daraufhin eintretende Verknappung bestimmter energieliefernder Rohstoffe, z.B. Öl, lenkte unsere Bemühungen wieder auf einen ökonomischeren Umgang mit der Energie (LEWIS 1983, Agenda 21). Um den mit den technischen Errungenschaften erreichten Lebensstandard weiter halten und vielleicht sogar weiter auszubauen zu können bzw. eine globale Angleichung zu erreichen, sind Maßnahmen zur besseren Energienutzung unausweichlich. Die mit der menschlichen Energieumsetzung verbundenen neuartigen und schneller ablaufenden Umweltveränderungen (z.B. Treibhauseffekt, saurer Regen, ...), die aufgrund eines geänderten Wertmaßstabes heute als Umweltprobleme betrachtet werden, tun ein Übriges zur Abkehr von der Energieverschwendung.

So, wie der Mensch sich durch die Nutzung "neuer" Energiequellen der biologischen Evolution weitestgehend entzogen hat, muss er heute wieder in der kulturellen Evolution um die Ressource Energie und mit ihr um seine weitere Existenz "kämpfen"¹¹.

Auch für den Menschen wie für jede andere Gattung auf der Erde gilt: Die Voraussetzung für das evolutionäre Überleben einer Gattung ist die Gewährleistung einer kontinuierlichen Energieversorgung.

Die Erkenntnis, dass den Schülern der Energiebegriff in seiner ganzen Komplexität in der Schule nur durch einen fächerübergreifenden Unterricht nähergebracht werden kann (WENK & TROMMER 1977), hat zur Folge, dass auch der Biologieunterricht seinen Teil zum umfassenden Energieverständnis beitragen muss.

¹¹ "Kämpfen" im Sinne einer anstrengenden Tätigkeit, bei deren Ausübung auch Bequemlichkeit abgelegt werden muss.

Vor allem in den Teilgebieten Stoffwechselphysiologie, Ökologie und Evolution sollen die Schüler den Problembereich "Energie in der Biosphäre" in seiner Vernetztheit von naturwissenschaftlichen, technischen, ökonomischen und demographischen Zusammenhängen kennenlernen und gedanklich durchdringen (vgl. BÖHM & SIMONIS 1982). Mit Hilfe des so angeeigneten Fachwissens und der spezifisch naturwissenschaftlichen Erkenntnismethoden sowie der in einem durch Logik, Transparenz und Reproduzierbarkeit gekennzeichneten naturwissenschaftlichen Unterricht vorgeprägten Einstellungen und Wertmaßstäbe sollten die Schüler in der Lage sein, die mit dem Themenkomplex Energie verbundenen Gegenwarts- und Zukunftsaufgaben zu erkennen, zu verstehen und verantwortungsbewusste Beiträge zur Lösung dieser Aufgaben leisten zu können. Einige wichtige fachwissenschaftsrelevante und gesellschaftsrelevante Aspekte des Biologieunterrichts in Bezug auf Energie sind in folgenden Punkten kurz zusammengefasst:

- Beinahe die gesamte Energieversorgung der belebten Natur auf der Erdoberfläche wird sichergestellt durch die Fähigkeit der grünen Pflanzen, aus solarer Strahlungsenergie über die Photosynthese Energie chemisch zu binden. Diese Erkenntnis verdeutlicht den ökologischen Stellenwert von Pflanzen und kann bei den Schülern z.B. zu einem besseren Verständnis der Urwaldrodungs- und Waldsterbensproblematik führen.
- Bei der Umwandlung von pflanzlicher in tierische Nahrung entstehen große Transformationsverluste (vgl. z.B. Energiepyramiden der Ökologie). Die Kenntnis dieser Tatsache kann die Diskussion zur Welternährung um energetische Aspekte erweitern (vgl. z.B. vegetarische Ernährung kontra Fleischkonsum) (OLTERSDORF 1982; SORRELLS & PIMENTEL 1981).
- Die Evolution der Organismen ist im allgemeinen als die wachsende Fähigkeit zur Energienutzung zu verstehen: Energiesparende Informationsübermittlung, Steuerung und Handlungsausführung sind wesentliche Kennzeichen sowohl hochentwickelter Organismen als auch moderner technischer Geräte. Die von Lebewesen jeweils angewandten Methoden der Energiebeschaffung, Speicherung und Nutzung gehören zu den zentralen Wesens- und Unterscheidungsmerkmalen der verschiedenen Gattungen und bestimmen ihren Stand in der Evolutionshierarchie (vgl. z.B. LEHNINGER et al. 1994).
- Leben kann als "System zur Einbindung und Speicherung von Energie" begriffen werden. Eine sinnvolle Nutzung dieser Eigenschaften der Organismen im technischen Bereich kann positive Konsequenzen auf unser Leben auf der Erde haben. Aus diesem Gedanken ergeben sich Ansätze zu alternativen Energieversorgungskonzepten, wie z.B. Rapsöl als Benzinersatz (vgl. z.B. WIESER 1995).
- Lebewesen steuern den Energiefluss in ihrer Umgebung so, dass sie selber einen höheren Grad an Ordnung und damit an Informationen gewinnen. Die in früheren Erdzeiten entstandenen großen Lager an fossilen Brennstoffen stellen derart gespeicherte Ordnung dar. Bei schneller Nutzung dieser Energiereserven stehen Schaffung und Vernichtung von Ordnung nicht mehr im Gleichgewicht. Als Folge entsteht in der Atmosphäre mehr Gase (Treibhauseffekt) und Wärme, als es dem seit Jahrmillionen eingestellten Gleichgewicht entspricht. Die Auswirkungen sind z.Zt. kaum absehbar (u.a. Polschmelze) (vgl. SCHÖNWIESE 1994).
- Eine zunehmende Erzeugung von Abfall bedeutet auch eine Anhäufung von schwierig zu nutzenden Energieträgern. In den funktionierenden Kreisläufen der Natur gibt es keinen "Abfall". Erst ein System ohne solche Energiesackgassen kann energetisch rationell arbeiten.
- Modelle und Maßstäbe der Natur werden für viele technische Lösungsvorschläge von aktuellen Umweltproblemen herangezogen, z.B. "grüne Lungen" in städtischen Wohngebieten, Stickstoff-fixierung mit Rhizobien, spezifisch raue Oberflächenstrukturen (Lotus-Effekt) zur Verminderung von Reibungsverlusten.

- Energie und Energieversorgung hat für den Menschen einen hohen Stellenwert, weil er zu den Warmblütern gehört. Bei niedrigen Außentemperaturen sorgt der Organismus durch biochemische Wärmeproduktion für die Erhaltung der Körpertemperatur. Zusätzlich werden Maßnahmen ergriffen, die eine Wärmeabstrahlung mindern (Kleidung, Isolation von Wohnungen) oder die nötige Wärme von außen zuführen (Heizen). Für alle Maßnahmen ist der Mensch dabei von externen Energieressourcen abhängig (vgl. MÜLLER 1999).

Wie die oben aufgeführten fachlich-kognitiven Lernaspekte für den Biologieunterricht zeigen, eröffnet gerade eine durch den Biologieunterricht geprägte Konkretisierung des Energiebegriffs den Schülern die Möglichkeit, auf Grund des weiter gefächerten Grundwissens qualifizierter an der Gestaltung und Weiterentwicklung unserer modernen Industriegesellschaft teilzuhaben.

Das relativ neue Forschungsgebiet der Bionik ist ein Beispiel dafür, wie das Verständnis von Energie in der belebten Umwelt dazu beitragen kann, neue Verfahren der Energieumwandlung zu suchen. Die neuentwickelten Verfahren, die sich an biologischen Systemen orientieren, sollen die ständige Energieverschwendung unserer technischen Systeme verringern helfen. So kann die Natur Modell und Maßstab für technische Lösungsmöglichkeiten von akuten und zukünftigen Umweltproblemen sein. Neben den weit gesteckten technischen Zielen zur Sicherung unseres zukünftigen Energiebedarfs darf die unmittelbare Wirkung eines guten Schulunterrichts zum Thema Energie nicht vernachlässigt werden. Achtung und Respekt vor den Leistungen der Natur können bei den Schülern z.B. durch den Vergleich von Wirkungsgraden in natürlichen und technischen Systemen geweckt werden.

Dadurch dürfte sicherlich ein positiver Einfluss auf das alltägliche Verhalten im Umgang mit der Energie ausgeübt werden¹².

Einen Beitrag zum vernünftigen Umgang mit dieser Ressource kann und muss der naturwissenschaftliche Schulunterricht leisten. Aber nicht allein die Fächer Physik, Chemie und Biologie dürfen mit dieser Aufgabe betraut werden. So wie der Energiebegriff nicht allein durch das Unterrichtsfach Physik ausreichend behandelt werden kann, wäre es ebenfalls engstirnig gedacht, nur den naturwissenschaftlichen Fächern die Vermittlung eines umfangreichen, umweltnahen Energieverständnisses zuschreiben zu wollen. Ohne die Beschäftigung mit der Energiethematik in realitäts- und damit erfahrungsnahen Bereichen der Schüler (die Behandlung der Energieversorgungsproblematik im Geschichts- und Politikunterricht sei hier als Stichwort genannt) kann eine Festigung des in den naturwissenschaftlichen Fächern erlangten fundierten Fachwissens über Energie nicht erreicht werden. Das in den Richtlinien erklärte Ziel, die Schüler zu einem verantwortungsbewussten schonenden, nachhaltigen Umgang mit der Natur (MSWWF NRW 1999) und damit der Energie zu erziehen, kann nur durch die unterrichtliche Bearbeitung dieser Thematik sowohl in naturwissenschaftlichen als auch in geisteswissenschaftlichen Fächern erreicht werden: Gerade der moderne Biologieunterricht erweist sich hier als Brückenfach zwischen den Naturwissenschaften und Geisteswissenschaften (DAUMER 1999). Nur wer die Energiethematik sowohl aus naturwissenschaftlicher als auch gesellschaftlicher Sicht verstanden hat, wird z.B. überzeugt energiebewusst handeln und solches Handeln propagieren.

¹² Diese Hoffnung soll nicht dahingehend missverstanden werden, dass ein direkter Weg von der Wissensvermittlung zu einem veränderten Handeln führt. Im Regelfall, so zeigen Untersuchungen aus der Umweltbildung, bleibt dieser Wunsch unerfüllt (vgl. z.B. BRILLING 1999). Aus konstruktivistischer Sicht des Lernens ist das Übertragen von Bedeutungen (z.B. Energie ist kostbar und darf nicht verschwendet werden.) unmöglich (vgl. S. 60). Dennoch liefern die aufgezeigten Überlegungen zur Relevanz der Energie eine Vielzahl möglicher Anlässe, um z.B. über Verhaltensweisen beim Nutzen von Energiequellen zu reflektieren. Ein solch reflektiver Umgang mit (Energie-) Wissen fördert Urteilsfähigkeit und kann in dessen Folge das erwünschte Handeln wahrscheinlicher werden lassen (vgl. SIEBERT 1999).

2.2.1.3 Argumentationsstrang 3:

Die Bedeutung des interdisziplinären Wissens über Energie steigt in Hinblick auf die ansteigende Menge des allgemein verfügbaren Wissens.

Die Leistungen unseres Gehirns sind in den letzten ca. 50 000 Jahren gleich geblieben. So bleibt z.B. das Vorstellungsvermögen auf drei Dimensionen beschränkt und nur sieben bis zehn Informationseinheiten können zur Entscheidungsfindung im Kurzzeitgedächtnis (KZG) gleichzeitig in Betracht gezogen werden (ROTH 1995). Im Gegensatz hierzu hat sich jedoch unsere Lebenswelt in den letzten Jahrhunderten stark verändert. Während bis ins 18. Jahrhundert ein Mensch theoretisch noch alles verfügbare Wissen seiner Zeit erfassen konnte, ist ein derartiger Anspruch auch von Fachleuten eines stark eingeschränkten Themenbereichs heute kaum noch zu erfüllen. Der Handlungs- und Erfahrungsraum eines Steinzeitmenschen erstreckte sich von den Gegenständen, die gerade noch mit dem bloßen Auge erblickt werden konnten, bis zu den Gebieten, die von ihm zu Fuß erwandert werden konnten. Dieser Raum hat sich für den Jetztmenschen um mehrere Zehnerpotenzen vom subatomaren bis zum interstellaren Raum enorm erweitert. Auch die Informationsdichte in diesem sich immer weiter ausdehnenden Raum wird besonders durch die Fortschritte in den Bereichen der Technik (Forschung) ständig erhöht. Die Erweiterung von Spektrum und Tiefe des Wissens hat zur Folge, dass die Halbwertszeit sinkt und damit die Vergänglichkeit des Wissens stetig steigt: „Alle fünf Minuten wird eine neue medizinische Erkenntnis gewonnen, alle drei Minuten ein neuer physikalischer Zusammenhang erkannt, jede Minute eine neue chemische Formel entdeckt. Das gesellschaftlich verfügbare Wissen verdoppelt sich (...) seit 1966 in einem 5-Jahres-Turnus.“ (NAHRSTEDT et al. 1995). Entwicklungen und Veränderungen sind rasanter geworden. Dies führt zur Forderung, dass unser Wissen nicht nur nachhaltig sein muss, indem es durch seine Struktur strukturierend wirkt und so Verstehen fördert, sondern dass es auch flexibel und zielgerichtet erweitert und ausdifferenziert werden kann. Der Mensch in dieser Medien- und Wissensgesellschaft kommt letztlich nach Auffassung des Kommunikationswissenschaftlers N. Bolz, nur dann klar, wenn er "ignorant" sei und vergessen könne. Es hat seiner Meinung nach keinen Sinn, dass sich Menschen binnen weniger Jahre, z.B. in der Schule, vergängliches Wissen aneigneten (BOLZ 1996).

Quintessenz: Der heutige enorme Wissenszuwachs lässt die didaktisch sinnvolle Auswahl von Lerninhalten und Lernzielen immer wichtiger und gleichzeitig immer schwieriger erscheinen, da ein immer größer werdender Teil des von der Menschheit angesammelten Wissens wegen der sich gleichzeitig nicht verlängernden Schulzeit unberücksichtigt bleiben muss oder nur noch stärker reduziert vermittelt werden kann.

Die sich aus dem obigen Gedankengang ergebenden verschärften Reduktions- und Auswahlkriterien werden im Biologieunterricht erfüllt, wenn z.B. energetische Aspekte biologischer Phänomene vermehrt als Grundlage für verschiedene Lerninhalte und Lernziele ausgewählt werden: Der Energiebegriff und die mit ihm verbundenen theoretischen Grundlagen stellen ein allgemeingültiges, dauerhaft anwendbares fundamentales Wissen dar¹³, das in seinen Auswirkungen in allen natürlichen und technischen Vorgängen wiederzufinden ist. Kenntnisse über Energie sind somit als exemplarisch zu charakterisieren, da sie interdisziplinär gültig und anwendbar sind. Kenntnisse über

¹³Wichtig ist die Beschränkung auf "theoretische Grundlagen des Energiebegriffs", denn auch das Wissen über Energie nimmt ständig zu und ist schon jetzt für einen Menschen nicht mehr zu erfassen. Einige Zahlen aus einer eigenen Internetrecherche verdeutlichen dies: Mehrere Hunderttausend Internetseiten zu energetischen Themen, mehrere Zehntausend Publikationen zu energetischen Aspekten in den Naturwissenschaften allein im letzten Jahrzehnt und mehrere Hundert Veröffentlichungen zur Behandlung des Themas im Schulunterricht allein in deutscher Sprache liegen vor.

Energie können deshalb vernetzend zwischen den naturwissenschaftlichen Fachbereichen wirken. Dieser Gedankengang wird im Argumentationsstrang 4 genauer betrachtet. Die didaktische Diskussion, welche konkreten Lerninhalte und Lernziele im Zusammenhang mit der Energiethematik im Fach Biologie aufzustellen sind, wird ausführlich in Kapitel 5 geführt.

2.2.1.4 Argumentationsstrang 4:

Eine vermehrte Berücksichtigung der Energiethematik hat positive Auswirkungen auf die inhaltliche Verknüpfung der naturwissenschaftlichen Fächer Physik, Chemie und Biologie und auf die Lernleistung der Schüler in diesen Fächern.

Die universelle Gültigkeit der naturwissenschaftlichen Theorien zum Energiebegriff (Thermodynamische Hauptsätze) kann sowohl gewinnbringend

A) in Hinblick auf die inhaltliche Verknüpfung der drei Naturwissenschaften Biologie, Chemie und Physik (verbunden mit dem grundlegenden Mathematikunterricht)

als auch gewinnbringend

B) in Hinblick auf die motivationalen Aspekte des Lernens im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht umgesetzt werden.

zu A) Die Theorien zum Energiebegriff bieten sich hervorragend an, den in Fächer horizontal und in einzelne Jahrgangstufen vertikal gegliederten mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht stärker als bisher miteinander zu verzahnen (vgl. FLADT 1998): *Energie als Roter Faden durch die Naturwissenschaften*. Die von SCHECKER et al. (1996) aufgestellte Forderung für die Verbesserung naturwissenschaftlicher Bildung in den naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern eine fächerüberschreitende Perspektive einzunehmen, lässt sich an der Energiethematik hervorragend verwirklichen. Die horizontale Verknüpfung, der fächerübergreifende Unterricht, ist lange diskutiert worden und wird mit den neu erscheinenden Richtlinien und Lehrplänen für die gymnasiale Oberstufe (endlich in Ansätzen stärker) verwirklicht (vgl. z.B. die Richtlinien in NRW, die mit dem Schuljahr 1999/2000 Gültigkeit erlangten).

Die weiten Möglichkeiten einer Verknüpfung im Bereich des Energiethematik sind in den neuen Rahmenplänen (KM NRW 1993) jedoch *nur spärlich* angedeutet und erreichen nicht die explizite Hervorhebung wie in den Richtlinien und Lehrplänen für die naturwissenschaftlichen Fächer des Gymnasiums in der Sekundarstufe I von 1981. In den Richtlinien und Lehrplänen für das Fach Biologie an der gymnasialen Oberstufe in NRW (MSWWF 1999) ist der Ausdruck Energie erst gar nicht im Stichwortverzeichnis zu finden. Systematische Hinweise zum unterrichtlichen Umgang mit dem Energiebegriff unterbleiben ganz. Auch die vertikale Verknüpfung innerhalb des Faches Biologie ist sehr spärlich ausgewiesen. So ist der Energiebegriff ausschließlich (!) in den obligatorischen Themenfeldern "Betriebsstoffwechsel und Energieumsatz" und "Nutzung der Lichtenergie zum Stoffaufbau" aus dem Bereich der Stoffwechselphysiologie erwähnt. Nur in einem der beiden genannten Themenfelder sollen dabei molekulare Prinzipien vertiefend behandelt werden.

Eine vertikale Verzahnung zu anderen Bereichen der Biologie wie z.B. der Ökologie (Stoffkreislauf und Energiefluss) findet sich nicht¹⁴.

¹⁴ Die im Vergleich zu den Richtlinien und Lehrplänen von 1981 nur äußerst wenigen und nicht mit den anderen naturwissenschaftlichen Fächern abgeglichenen Hinweise auf die unterrichtliche Nutzung der interdisziplinären Energiethematik in den Richtlinien und Lehrplänen von 1999 wird vom Autor als deutlicher Rückschritt gewertet. Hinweise zu einem vernetzten Denken und zu fächerübergreifendem Wissen in den neuen Richtlinien und Lehrplänen von 1999 erscheinen als "leere Phrasen" wenn eine in diesen Zusammenhängen zentrale Thematik wie die der Energie nur noch am Rande und nur noch auf ein Fach beschränkt aufgeführt wird.

Dabei hätte eine gesteigerte Kohärenz zwischen den Inhalten der Fächer nicht nur deutliche Synergieeffekte für das inhaltliche Vorankommen in den Fächern: Der Energiebegriff würde nicht in jedem Fach neu (und anders) gelernt werden müssen (vgl. BAUMERT et al. 1997), er könnte - wenn als Wissen bei den Schülern vorhanden - zu neuen, vernetzenden Betrachtungsebenen der sowieso im Fachunterricht behandelten Stoffe flexibel eingesetzt werden. Das Verständnis der grundlegenden Aussagen der thermodynamischen Hauptsätze ist eine derartige Schlüsselqualifikation (BERCK 1999) für biologisches Denken, Handeln und Verstehen, weil die Zusammenhänge der Thermodynamik in vielen Phänomenen wiederzufinden sind und deshalb die Kenntnis dieser Theorien Voraussagen ermöglichen und Zusammenhänge der vernetzten Welt erkennen lassen (vgl. Textbox). Die Thesen ARNOLDS (2000) "Eine komplexe Welt kann nur durch Einüben systematisch-strukturierter Denkens erfasst werden. Strukturiertes Denken muss einer Flucht in das Wissen vorbeugen." und "Lineares Denken muss durch vernetztes Denken ergänzt resp. ersetzt werden." werden durch das zuvor gesagte gestützt. Eine durch horizontale und vertikale Verzahnung gesteigerte Kohärenz würde sich auch positiv auf den Lernprozess der Schüler auswirken, wie im Folgenden erläutert wird:

Das grundlegende Prinzip des Energieflusses

- in Zellen
- in Organismen
- zwischen Organismen
- zwischen Organismen und Umwelt

ist Raster zur Einordnung von Einzelinformationen.

zu B) Eine vertikale und horizontale Verknüpfung in den naturwissenschaftlichen Fächern hinsichtlich der Unterrichtsinhalte und deren zeitlicher Abfolge (Stichwort: Schuleigenes Curriculum) ermöglicht es Schülern vermehrt, eine allgemein naturwissenschaftliche und speziell fachbezogene Kompetenzentwicklung zu erfahren. Lernanstrengungen lohnen sich für Schüler vermehrt, wenn für sie ersichtlich wird, wofür sie das Erlernte einsetzen können. Dies wird erfahrbar, wenn Schüler eine Perspektive dafür entwickeln können, wie Lerninhalte aufeinander aufbauen und wie durch das Verknüpfen bisheriger Lerninhalte eine eigene Grundlage für ein Verständnis komplexer Sachverhalte entsteht. Eine dichte Verknüpfung ermöglicht und "vermittelt Erfolgserlebnisse und fördert das Behalten wie auch das kreative Kombinieren ohne zusätzlichen Aufwand" (VESTER 1982). Derartige Erfahrungen zum schulischen Lehr- und Lernprozess können exemplarisch am Energiebegriff initiiert und dann auf andere Themenbereiche übertragen werden.

Durch das Wiedererkennen von Bekanntem in neuen Lernsituationen - hier die Anwendbarkeit der Überlegungen zu den Thermodynamischen Hauptsätzen - kann mögliche Angst vor neuen Informationen gemindert werden und die Integration dieser Informationen in das bestehende Wissensnetz wird erhöht. Wissen um Energie als Teil einer komplexen Erklärung kann ein Anker sein, so dass man immer – auch bei noch so komplexen Themen – sagen kann ich habe etwas verstanden. Neues kann nur dann erfolgreich in das alte Wissen integriert und vernetzt werden, wenn die Diskrepanz zwischen alt und neu nicht zu groß ist (vgl. Kap. 3.1.3.6, S. 79). Wenn Schüler in vielen Lernsituationen schon ein wesentliches Prinzip wiederentdecken können, ist diese Forderung zumindest in Ansätzen häufiger erfüllt.

Die Gedankengänge lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Eine vermehrte Berücksichtigung der Energiethematik im Biologieunterricht im Rahmen eines wie oben beschrieben gestalteten Naturwissenschaftsunterrichts würde

- die Zweckmäßigkeit des erlernten Wissens zu Energie durch häufige Anwendung hervorheben, den Zuwachs an Kompetenz durch Wiedererkennungseffekte erfahrbar machen und damit zu einer intrinsischen Motivation beitragen, themenbezogene Wissenslücken zu schließen. Das Faktenwissen über die Thermodynamik ist somit eine nicht unabdingbare, aber hilfreiche Voraussetzung für den Erwerb einer naturwissenschaftlichen Fachkompetenz.
- die Integration der naturwissenschaftlichen Fächer untereinander fördern und so vermehrt zu *einem* naturwissenschaftlichen Grundverständnis führen. Wissenskompartimentalisierungen (MANDL, GRUBER & RENKL 1993) würden erfolgreicher verhindert. Das Wissen über die Thermodynamik fördert wegen der unzähligen Möglichkeiten der Anwendung in den verschiedensten Gebieten den Aufbau eines strukturierenden und systematisierenden Wissens und beugt damit der bloßen Ansammlung nicht vernetzter Fakten vor.
- die Kompetenz zur Problemfindung fördern, da die Schüler in vielen verschiedenen Kontexten lernen, zwischen situationsbezogenem Wissen und kontextfreiem Wissen zu unterscheiden (Beitrag zur Flexibilisierung von Wissen, Verhinderung "trägen Wissens", vgl. Kap. 3.2.2, S. 102). Hierdurch können Schüler abstrahierend vom Thema Energie die Auswahl und Suche kontext-relevanter Informationen beim Beobachten und Erklären von Phänomenen ihrer Umgebung lernen.
- die Schüler darin schulen, mit der Komplexität ihrer meist stark vernetzten Umgebung umzugehen. Dieser Kompetenzzuwachs bezieht sich sowohl auf das Erkennen von Vernetzungen als auch auf das Erlernen von prozeduralem Wissen (methodisch-strategisches Wissen, vgl. Kap. 3.1.3.5, S. 72), um mit diesem (u.a. angstfreier) umzugehen. Wissen über Energie fördert wegen der universellen Gültigkeit das vernetzte Denken, indem es Zusammenhänge zwischen Phänomenen schafft, die auf den ersten Blick nicht zusammenzugehören scheinen.

2.2.2 Analyse der aktuellen Richtlinien und Lehrpläne der Gesamtschule und des Gymnasiums in NRW in Hinblick auf die aktuelle Berücksichtigung und die beabsichtigte vermehrte Berücksichtigung der Thematik Energie

2.2.2.1 Das Thema Energie in den Lehrplänen der naturwissenschaftlichen Fächer

Die Ziele und Inhalte des heutigen Biologieunterrichts sind geprägt durch die Bildungsreform der siebziger Jahre. Damals wurden Pflanzen- und Tierkunde weitgehend abgeschafft und durch Gebiete der Allgemeinen Biologie wie Cytologie, Stoffwechselphysiologie, Ethologie, Genetik und Evolution ersetzt. Großen Stellenwert - insbesondere in den Lehrplänen der Sekundarstufe I - erlangten die Humanbiologie und die fächerübergreifenden Bereiche der Sexual-, Gesundheits- und Umwelterziehung. Die Unterrichtsziele und -inhalte der gymnasialen Oberstufe wurden stärker wissenschaftsorientiert ausgerichtet (HÄUßLER et al. 1998). In beiden Sekundarstufen erfolgte die Auswahl und Strukturierung der fachspezifischen Inhalte vor allem anhand von "Prinzipien des Lebendigen" und den diesen Prinzipien zugeordneten "Schlüsselkonzepten" (BERCK 1999). Durch diese Umstrukturierung des Biologieunterrichts gewann der Themenbereich "Energie" auch im Biologieunterricht einen größeren Stellenwert.

Die nachfolgenden Übersichten zu den aktuellen Lehrplänen der Gymnasien (KM NRW 1993) und Gesamtschulen (MSWWF 2000) in NRW zeigen auf, in welchen Jahrgangstufen, in welchen naturwissenschaftlichen Fächern und innerhalb welcher Zusammenhänge das Thema Energie behandelt werden soll.

Unterrichtsinhalte zum Thema Energie in der Sekundarstufe I am Gymnasium in NRW in den Fächern Biologie, Chemie und Physik

Tab. 2-3: Unterrichtsinhalte zum Thema Energie in der Sekundarstufe I am Gymnasium in den Fächern Biologie, Chemie und Physik

| Jg. | Biologie | Chemie | Physik |
|-----|---|--|---|
| 5 | <p>Mensch, Ernährung, Verdauung, Nahrungsmittel und Nährstoffe: Funktion der Nährstoffe als Bausubstanz und Energieträger: Verdauung, Atmung, Kreislauf und Bewegung als ganzheitliches System: Energiewandlung und Energieentwertung; Nährstoffe entsprechen Energiespeichern, Energienutzung findet durch Atmung und Verdauung statt</p> | (in Jahrgangstufe 5 kein Unterricht) | (in Jahrgangstufe 5 kein Unterricht) |
| 6 | <p>Samenpflanzen, Bau und Funktion der Samenpflanzen: Blatt, Photosynthese: Licht als Energiequelle, Stärke als Energieträger Säugetiere, Anpassung an Jahreszeiten: Überwinterung, Winterschlaf, Wärmehaushalt, Körperwärme</p> | (in Jahrgangstufe 6 kein Unterricht) | <p>Temperatur und Energie: Einführung der Energie (mit Einheit Joule), Energieübergänge zwischen Körpern verschiedener Temperatur Elektrischer Strom: Elektrischer Strom und Energie, Energiewandler Speicherung, Transport und Entwertung von Energie: Speicherung und Transport der Energie (Energiewandlungsketten), Entwertung von Energie, Energie und Umwelt</p> |
| 7 | (im zweiten Halbjahr der Jahrgangstufe 7 kein Unterricht) | <p>Einführung und erste Anwendung einer Teilchenvorstellung: Erwärmung und Abkühlung als messbare Effekte für die Änderung der Intensität der Teilchenbewegung Stoff- und Energieumsätze: Energieumsätze, Energiefluss bei chemischen Reaktionen, insbesondere exothermen Reaktionen (hauptsächlich mit Sauerstoff), Unterscheidung von System und Umgebung, Energiefluss als Wärme und/oder Licht, Energieinhalte von Produkten und Edukten, Umkehrbarkeit chemischer Reaktionen durch Ändern der Energieflussrichtung, endotherme Reaktionen</p> | (in Jahrgangstufe 7 kein Unterricht) |

| Jg. | Biologie | Chemie | Physik |
|-----|--|---|--|
| 8 | <p>Grundlagen ökologischer Beziehungen in Lebensgemeinschaften der Heimatregion: Zusammenfassende und generalisierende Darstellung von Lebensgemeinschaften, Sonnenlicht als primäre Energiequelle, besondere Bedeutung der Photosynthese, Energieentwertung in der Nahrungskette</p> | (in Jahrgangstufe 8 kein Unterricht) | <p>Elektrizitätslehre: Elektrische Quellen als Energiewandler, Elektrische Verbraucher als Energiewandler</p> |
| 9 | <p>Mensch, Stoffwechsel, Stofftransport, Energieumsatz: ganzheitliche Darstellung der hier auftretenden energieentwertenden Prozesse, Ernährung, Struktur und Funktion der Nahrungsbestandteile/Nährstoffgruppen, Bedeutung der Nährstoffe für den Energiehaushalt (Energieentwertung), Auswertung von Nährwert-tabellen, vergleichende Betrachtung des Energiegehaltes, physikalischer und physiologischer Brennwert Behandlung von Energiespeicherung, Energieentwertung durch mechanische und chemische Arbeit</p> | <p>Kennzeichen chemischer Reaktionen: stoffliche und energetische Aspekte, Wiederaufgreifen und Vertiefen der Begriffe aus der Jahrgangstufe 7 an neuen Beispielen, Stoffmengen bezogene Energieumsetzungen, jedoch nur bei vergleichbaren, d.h. chemisch ähnlichen Reaktionen, z. B. Oxidationen</p> <p>Elektronenübertragungsreaktionen: Energiebetrachtungen bei Elektrolysen, Energieabführung durch elektrischen Strom aus chemischen Reaktionen (einfache galvanische Zellen)</p> | <p>Energie, Arbeit, Leistung: mechanische Energie und Arbeit, die mechanische Leistung</p> <p>Innere Energie: Energieerhaltung und innere Energie, innere Energie und elektrische Arbeit, Energieentwertung</p> |
| 10 | (in Jahrgangstufe 10 kein Unterricht) | <p>Brennstoffe: (wählbar aus 5 möglichen Themen) Kohlenstoffverbindungen als Energiespeicher, Alternative Energiequellen (Brennstoffzellen)</p> <p>Kohlenhydrate: (wählbar aus 5 möglichen Themen) Kohlenstoffverbindungen als Energiespeicher</p> | <p>Elektrische Energie: elektrische Energie und Leistung, elektromagnetische Energiewandler (Elektromotor und Generator), Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie</p> <p>Radioaktivität und Kernenergie: Energie aus Kernkraftwerken</p> |

Unterrichtsinhalte zum Thema Energie in der Sekundarstufe I an Gesamtschulen in NRW für den Unterricht Naturwissenschaften

Im Lehrplan für den naturwissenschaftlichen Unterricht an Gesamtschulen sind die fachlichen Schwerpunktthemen und Leitbegriffe der Bereiche bestimmten Rahmenthemen für die Jahrgangstufen 5/6, 7/8 und 9/10 zugeordnet. Da die Lehrpläne den Schulen die Möglichkeit bieten, eigenständig die obligatorischen Rahmenthemen auf die Jahrgangstufen und zu einzelnen Fachunterricht nach ihrem eigenen Schulcurriculum zu verteilen, beschränkt sich die folgende Lehrplanübersicht auf die fachlichen Schwerpunkte und Leitbegriffe zu den Fachbereichen Biologie, Chemie und Physik. Eine Zuordnung dieser Schwerpunkte und Leitbegriffe zu den einzelnen Jahrgangstufen unterbleibt.

Tab. 2-4: Unterrichtsinhalte zum Thema Energie in der Sekundarstufe I in der Gesamtschule im naturwissenschaftlichen Unterricht

| Fachliche Schwerpunkte und Leitbegriffe | | |
|---|--|---|
| Biologie | Chemie | Physik |
| Wachstum, Zusammenwirken, Vergehen Fotosynthese, Energiewandlung, nachwachsende Rohstoffe, Energie von der Sonne Nahrung als Energiequelle, Stoffwechsel | Reaktionen Energieumsätze fossile Energieträger Modelle und Strukturen Bindungsarten | Wärme und Energie Energietransport, Energieumwandlung, Energieübertragung, Energieentwertung, Energielieferant Sonne Kraft und Bewegung Mechanische Energie, Energieumwandlungen |

Im Gegensatz zu den Lehrplänen am Gymnasium für die Fächer Biologie, Chemie und Physik wird im Lehrplan für Naturwissenschaften an Gesamtschulen an vielen Stellen detaillierter auf Lernziele zum Thema Energie hingewiesen. In folgenden Rahmenthemen wird wie angegeben auf energetische Aspekte verwiesen:

Körperlich und geistig fit

Die Schüler lernen beim Stoffwechsel Nahrung als Energiequelle kennen. Sie gewinnen erste Einsichten über Atmung, "kalte" Verbrennung und den Wärmehaushalt des Körpers.

Energie und Stoffwechsel

Die Schüler verfolgen die Energieumwandlung von der Sonne über die Photosynthese bis hin zu nachwachsenden Rohstoffen. Dabei spielen auch der Kohlenstoffkreislauf und die Sauerstoffherstellung eine Rolle. Sie erwerben Kenntnisse über Nahrung als Energiequelle, Stoffwechsel und Atmung sowie über den Aufbau und die Struktur der Nahrungspyramide.

Sonne: Licht und Wärme

Die Schüler vertiefen das Wissen über Zusammenhänge von Licht und Lichtausbreitung. Sie berücksichtigen Energieumsätze und die Massenerhaltung bei chemischen Reaktionen und erwerben grundlegende Kenntnisse über fossile Energieträger.

Energie und Energieträger

Die Schüler lernen am Beispiel der Sonne als Energielieferanten die Beziehung zwischen Energietransport, Energieumwandlung, Energieübertragung, Energieentwertung kennen und anwenden. In diesem Zusammenhang vertiefen sie ihre Kenntnisse über Speicherung und Erzeugung von elektrischer Energie.

Nahrungs- und Genussmittel

Bei der Umwandlung von Stoffen beachten sie Stoff- und Energieumsätze sowie die Massenerhaltung

Unterrichtsinhalte zum Thema Energie in den Fächern Biologie, Chemie und Physik in der Oberstufe an Gymnasien und Gesamtschulen in NRW

Da die Lehrpläne für die Fächer Biologie, Chemie und Physik in der Oberstufe - ähnlich wie im Lehrplan Naturwissenschaften für Gesamtschulen - den Schulen mehrere Möglichkeiten eröffnen, eigenständig die obligatorischen Rahmenthemen auf die Jahrgangstufen nach ihrem eigenen Schulcurriculum zu verteilen, beschränkt sich die folgende Lehrplanübersicht auf die Nennung der Themenfelder zu Energie, ohne eine Einteilung nach Jahrgangstufen vorzunehmen.

Tab. 2-5: Unterrichtsinhalte zum Thema Energie in der Sekundarstufe II am Gymnasium und in der Gesamtschule in den Fächern Biologie, Chemie und Physik

| Jg. | Biologie | Chemie | Physik |
|----------------------|---|---|---|
| 11, 12 & 13 | <p>Betriebsstoffwechsel und Energieumsatz Zellatmung anaerober Abbau von Glucose Photosynthese</p> <p>Ökologische Verflechtung und nachhaltige Nutzung Biomassenproduktion, Trophieebenen, Energiefluss</p> <p>Evolution der Vielfalt des Lebens in Struktur und Verhalten Kosten-Nutzen-Prinzip bei Konkurrenz um Ressourcen</p> <p>Bewegung (molekulare Mechanismus, Energetik und Koordination) Bedeutung des ATP Regulation der Energiebereitstellung</p> | <p>Gewinnung, Speicherung und Nutzung elektrischer Energie in der Chemie</p> <p>Reaktionswege zur Herstellung von Stoffen in der organischen Chemie Bindungsenthalpien, Reaktionsenthalpien, Energiediagramme, Mesomerieenergie</p> | <p>Energie und Arbeit Lageenergie und Hubarbeit Bewegungsenergie und Beschleunigungsarbeit Spannenergie und Spannarbeit Energieentwertung und Reibungsarbeit Energiebilanzierung bei Übertragung und Umwandlung Erhaltung und Entwertung der Energie Stoßvorgänge</p> <p>Ladungen und Felder potentielle Energie im elektrischen Feld, Spannung, Potential</p> <p>Relativitätstheorie Äquivalenz von Masse und Energie</p> <p>Energieerhaltung und Energieentwertung 1. Hauptsatz der Thermodynamik Entropie und 2. Hauptsatz der Thermodynamik</p> <p>Wärmekraftmaschinen und Energieversorgung Wärmekraftmaschinen (Energie- und Entropiestrom, Wirkungsgrad, Kraft-Wärme-Kopplung, Heißluftmotor und Wärmepumpe) Energieversorgungskonzepte (konventionelle und regenerative Energien)</p> <p>Energetik der Erde Energieabstrahlung der Sonne Energiehaushalt der Erde, Atmosphäre</p> |

Im naturwissenschaftlichen Unterricht der Oberstufe (MSWWF 1999) werden zwar verschiedene Themenfelder aufgezeigt, in denen die Energiethematik behandelt werden kann, eine detaillierte Beschreibung dessen, was zum Thema Energie bzw. zum Energiebegriff vermittelt werden soll, fehlt jedoch in allen drei Lehrplänen. Insbesondere im Fach Biologie sind die Hinweise besonders spärlich. So wird selbst zu den Themen Photosynthese und Zellatmung nicht auf energetische Aspekte hingewiesen. In der Chemie wird zwar das Theoriekonzept "Energetik" in der 13. Jahrgangsstufe hervorgehoben "Energetik: Ein wichtiges Prinzip zum Verständnis von Energieumwandlungen und der Steuerung chemischer Reaktionen." (MSWWF 1999). Inhaltliche Ausführungen fehlen jedoch auch hier. Zum Energiebegriff heißt es lediglich: "Bei der Entscheidung für das Themenfeld "Energie: Quelle - Nutzung - Umweltbelastung" liefert die Energetik die notwendigen Begriffe wie Energie, Enthalpie und Entropie, ohne die die Unterrichtsreihe nicht auskommen wird. Die Energetik kann ebenso im Rahmen der Themenfelder "Technische Produktionsverfahren" und "Umweltchemie" ein Schwerpunkt sein."

Die Inhalte und die Gliederung der Lehrpläne für den naturwissenschaftlichen Unterricht erlauben eine Betonung des Themas Energie und verdeutlichen zugleich die Wichtigkeit von Absprachen zwischen den Fächern.

Die Zusammenstellung der Lehrplanauszüge macht deutlich, dass es ohne eine Veränderung der zu unterrichtenden Themen eine Vielzahl an Lernbereichen gibt, in denen energetische Aspekte thematisiert werden können. Eine weitere Hervorhebung des Themas, wie sie in Kapitel 2.2.2.2 für das Fach Biologie skizziert wird, erscheint in allen Naturwissenschaften sinnvoll. Gründe für diese Hervorhebung der Energiethematik sind die in Kapitel 1 beschriebenen Lernschwierigkeiten zum Energiebegriff (bestätigt durch die eigenen Untersuchungen, vgl. Kap. 4.5.6, S. 175ff) sowie die aufgezeigten lernfördernden Effekte, die von einer intensiveren Beschäftigung mit dem Thema Energie erwartet werden (vgl. Kap. 2.2.1.4, S. 36) bzw. die in ersten Ansätzen im praktischen Unterrichtseinsatz bereits festgestellt wurden (vgl. Kap. 5).

Wünschenswert wäre für den naturwissenschaftlichen Unterricht - insbesondere in der Oberstufe - ein zwischen den Fächern abgestimmter Hinweis für die unterrichtenden Kollegen über die Inhalte und Bedeutungen, die zur Energiethematik vermittelt werden sollen. Ein solcher Hinweis sollte ähnlich aufgebaut sein, wie er in den Richtlinien und Lehrplänen für das Gymnasium, Sekundarstufe I vorliegt (vgl. KM NRW 1993). Das aktuelle Fehlen derartiger Hinweise sowie die starke Streuung der Lernbereiche mit energetischen Aspekten in den Sekundarstufen I und II macht deutlich, wie wichtig bei den aktuellen Lehrplänen eine *schulinterne Absprache* über die konkreten Inhalte und genauen Zeitpunkte eines Unterrichts mit Inhalten zum Thema Energie ist.

Auch die im Kapitel 5 vorgestellten Leitlinien dieser Arbeit können nur sinnvoll zur Effizienz von naturwissenschaftlichem Unterricht beitragen, wenn entsprechende verbindliche Absprachen zwischen den Fachkonferenzen und allen unterrichtenden Lehrkräften vorliegen und umgesetzt werden.

2.2.2.2 Beispiele für die vermehrte Berücksichtigung energetischer Aspekte im Biologieunterricht außerhalb der in den Lehrplänen genannten Fachgebiete

Vorbemerkung: "Energie" ist allumfassend. Ist "Energie" dennoch ein Lerninhalt, den man für den Biologieunterricht auswählen kann? Zum Begriff Energie - ob im naturwissenschaftlichen Begriffssystem als Rechengröße oder im gesellschaftswissenschaftlichen Begriffssystem z.B. als Synonym für den "Treibstoff" Strom verstanden - lassen sich leicht Lernziele formulieren, wie etwa: "Die Schüler sollen Energie als einen Wert kennenlernen, dessen Größe sich während einer Reaktion nicht verändert." oder "Die Schüler sollen die Stand-by-Schaltung von Unterhaltungsgeräten als eine Quelle der Energieverschwendung im Haushalt benennen können.". Ist "Energie" jedoch auch ein Lerninhalt, ein Gegenstand, *an dem* Schüler Einsichten und Kompetenzen erwerben können? Diese Frage mag bezogen auf den Titel dieser Arbeit "Schülervorstellungen zu Energie" überraschen, aber: Anders als Themen wie Mitose oder Waldsterben, deren inhaltliche Grenzen definiert werden können, ist das "Thema Energie" - im Sinne des naturwissenschaftlichen Begriffssystems - allumfassend. Jeder Vorgang auf der Erde (und im Universum) kann unter energetischen Gesichtspunkten analysiert werden: die Photophosphorylierung genauso wie das Nahrungssuchverhalten von Eulen. Jede Fragestellung der Biologie hat demnach auch eine energetische Dimension. *Im naturwissenschaftlichen Unterricht ist Energie deshalb im Fachbereich der Biologie kein eigenständiges abgeschlossenes Thema, kein eigener Lerngegenstand¹⁵, sondern nur ein*

¹⁵ Mit den Ausdrücken "Unterrichts- bzw. Lerngegenstand" oder auch "Unterrichts- bzw. Lerninhalt" werden in dieser Arbeit diejenigen Teilbereiche natürlicher und gesellschaftlicher Wirklichkeit gemeint, an und mit denen im Unterricht orientiert an zuvor formulierten Lernzielen - Kenntnisse, Fähigkeiten und Einstellungen vermittelt werden.

möglicher Analyseaspekt, der eine Rolle zum Verstehen und Vorhersagen von Abläufen des Lebens spielen kann (vgl. KATTMANN 1980).

Wird Energie jedoch - wie im gesellschaftswissenschaftlichen Begriffssystem - als Synonym für Treibstoff verstanden, ist auch eine abgrenzbare biologische Themenformulierung z.B. im großen Kontext der Energieversorgung möglich.

Energetische Aspekte werden in der Biologie hauptsächlich im Themenbereich der Stoffwechselphysiologie (Photosynthese und Zellatmung) und der Ökologie (Energiefluss durch Ökosysteme, Nahrungsstufen und Energiepyramide, Energieumsatz und Körpergröße, Aspekte zum Energiesparen) behandelt (vgl. Übersichten zu den Lehrplänen (S. 39ff) und BILLICH 1977). Alle gefundenen Veröffentlichungen zu fachdidaktischen Fragen der Biologie in Hinblick auf den Energiebegriff beschränken sich ebenfalls auf diese beiden Bereiche (vgl. Kap. 5).

Nachfolgend sind *exemplarisch* Aspekte aus den anderen Fachbereichen der Biologie skizziert, die ebenfalls im Schulunterricht der Sekundarstufen aus energetischer Sicht thematisiert werden könnten.

So könnte in der Genetik der Bereich der Genregulation betrachtet werden. Hervorzuheben wäre z.B., dass es aus energetischer Sicht nicht sinnvoll ist, sämtliche Enzyme eines Organismus auf Vorrat zu produzieren. Ebenso könnte der G-C-Gehalt der DNA bei Bodenbakterien hinsichtlich der Stabilität gegenüber elektromagnetischer Strahlung aus energetischer Sicht behandelt werden. In der Neurophysiologie könnten die Ionenströme an Nervenzellen bei der Informationsübertragung aus energetischer Sicht mit der Zunahme an Entropie erklärt werden. Deutlich wird, dass das Schaffen von Ordnung, nämlich der Aufbau von Konzentrationsgradienten, ein endergoner Prozess ist. Im Bereich der Ethologie könnten die Verhaltensweisen von Organismen aus energetischer Sicht analysiert werden. Kosten-Nutzen-Rechnungen bei der Nahrungssuche oder beim Balzverhalten sind hier als leicht nachzuvollziehende Beispiele zu nennen (z.B. IMMELMANN 1996). Das Bestreben, mit möglichst geringem Energieaufwand einen größtmöglichen Nutzen zu erzielen, ist auch bei Verhaltensweisen des Menschen zu beobachten. So könnte z.B. das menschliche Verhalten bei der Arbeitsorganisation analysiert werden. Übergreifende energetische Analysen sind auch in der Evolution von Schülern zu leisten (vgl. KATTMANN 1980). So könnte die Entwicklung der Lebewesen als eine Vervollkommnung der Energieumwandlungsmöglichkeiten beschrieben werden. Neben dem "phänotypischen" Selektionskriterium "Angepasstheit an Umgebung" kann das "genotypische" Selektionskriterium "Energetische Effizienz" diskutiert werden. Beispiele für energetische Entwicklung und Selektion wären etwa die Evolution der Stoffwechselfvorgänge von der Gärung zur Zellatmung oder die Entwicklung von Isolationssystemen bei Tieren, die in kälteren Regionen leben. Ebenfalls zur energetischen Analyse bieten sich die Themenbereiche an, die im Fachbereich der Bionik bearbeitet werden. Insbesondere die Morphologie bei Tieren und Pflanzen können durch Fragen wie etwa "Welche Körperform ermöglicht die energiesparsamste Fortbewegung?" oder "Welche Stängelbeschaffenheit von Gräsern bietet bei minimalem Energieeinsatz zum Stoffaufbau den größtmöglichen Halt?" aus energetischer Sicht betrachtet werden.

3 Grundlagen zum methodischen Ansatz: Vermehrte Berücksichtigung von Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext"

Das Kapitel 3 erläutert die pädagogischen und fachdidaktischen Grundlagen zur unterrichtlichen Umsetzung des methodischen Ansatzes dieser Arbeit. Die pädagogischen Erläuterungen beziehen sich auf Erkenntnisse der pädagogischen Psychologie sowie der Wissenstheorie "Konstruktivismus". Übergeordnetes Ziel des Kapitels ist es, die theoretischen Grundlagen einerseits für die Entwicklung von Untersuchungsinstrumenten zur Ermittlung von Schülervorstellungen (vgl. Kap. 4) und andererseits für die Entwicklung praxisnaher Vorschläge zum Umgang mit Schülervorstellungen bei der Planung und Durchführung von Unterricht auszuarbeiten (vgl. Kap. 5).

In den *pädagogischen Grundlagen* (Kap. 3.1) werden drei Schwerpunkte gesetzt. Zunächst wird in Kapitel 3.1.1, ausgehend von den aktuellen Lernschwierigkeiten der Schüler im Biologieunterricht, aufgezeigt, seit wann und in welchem Rahmen sich Didaktiker mit der Idee auseinandersetzen, den Lernerfolg der Schüler im Unterricht durch die intensivere Berücksichtigung von Vorstellungen zu verbessern. Hervorgehoben

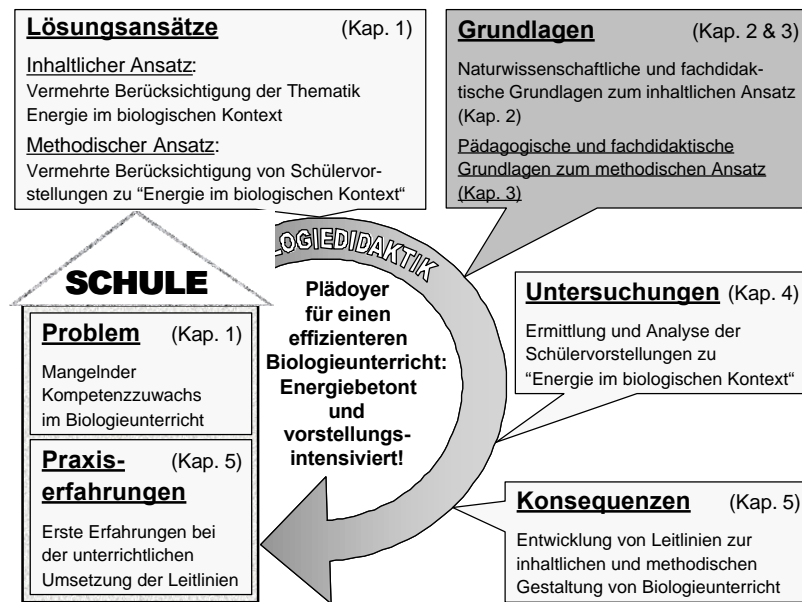


Abb. 3-1: Gliederung der Arbeit (aktuelle Position markiert)

wird des weiteren, durch welche Weiterentwicklungen im Rahmen dieser Arbeit dieser mindestens seit 150 Jahren publizierte Ansatz praxisnäher und damit erfolgreicher angewandt werden kann.

In einem zweiten Schwerpunkt werden dann in Kapitel 3.1.2 wesentliche Gedankengänge des Konstruktivismus zusammengestellt. Konstruktivistische Inhalte sind dabei deshalb als eine Grundlage zum methodischen Ansatz ausgewählt worden, weil sie, gestützt durch neue Erkenntnisse aus Lernpsychologie und Neurophysiologie, die theoretische Basis zur besonderen Beachtung der Schülervorstellungen legen: Die konstruktivistische Sichtweise stellt einen gedanklichen Rahmen bereit, der die skizzierten Lernschwierigkeiten im naturwissenschaftlichen Unterricht zu verstehen gestattet. Um die Grundauffassungen des Konstruktivismus für didaktische Fragen der

Unterrichtsgestaltung und -durchführung besser nutzen zu können (vgl. Kap. 3.2), ist die Zusammenstellung in Kapitel 3.1.2 an didaktischen Überlegungen ausgerichtet.

Im Anschluss an die Aufarbeitung konstruktivistischer Theorien werden in einem dritten Schwerpunkt in Kapitel 3.1.3 die aktuellen Kenntnisse zu Wissenserwerb und Anwendung von Wissen sowie zur Rolle der (Schüler-) Vorstellungen bei diesen Lehr- Lernprozessen (u.a. aus konstruktivistischer Sicht) dargestellt (vgl. Textbox).

Die in Hinblick auf die Erhebung von Schülervorstellungen (vgl. Kap. 4) und vermehrte Einbeziehung von Schülervorstellungen in den Unterricht (Kap. 5) wichtigen Schlussfolgerungen der drei Schwerpunkte werden in Kapitel 3.1.4 zusammenfassend diskutiert.

"Eine effektive Vermittlung von Wissen setzt Erkenntnisse über den Prozeß des Wissenserwerbs voraus, um auf dieser Grundlage entsprechende instruktionale Methoden und Prinzipien entwickeln zu können." (REINMANN-ROTHMEIER & MANDL 1998)

In den *fachdidaktischen Grundlagen* (Kap. 3.2) werden in Kapitel 3.2.1 zunächst die Konsequenzen zur Planung und Durchführung naturwissenschaftlichen Unterrichts aus den Überlegungen zum Konstruktivismus zusammengefasst. Da sich aus der Diskussion zu den Grundaussagen des Konstruktivismus auch Hinweise zur *inhaltlichen* Gestaltung des Biologieunterrichts ergeben, werden diesbezüglich wichtige Gedankengänge in Ergänzung zu den fachdidaktischen Überlegungen aus Kapitel 2.2 hier ergänzend in einem eigenen Abschnitt aufgeführt.

Die Planung und Durchführung von naturwissenschaftlichem Unterricht auf der Basis von Schülervorstellungen kann verschiedenartig gestaltet werden. Das Kapitel 3.2.2 fasst die Ausgangssituation und die Ziele in Hinblick auf Schülervorstellungen und deren Änderung im Unterricht zusammen. Weiterhin stellt es grundlegende Voraussetzungen für die erfolgreiche stärkere Einbeziehung von Schülervorstellungen in den Unterricht dar und gibt einen Abriss über die in der Literatur in diesem Zusammenhang diskutierten Strategien der praktischen Unterrichtsgestaltung.

3.1 Pädagogische Grundlagen: Die Bedeutung von Schülervorstellungen beim Lernen und Lehren aus konstruktivistischer Perspektive

3.1.1 Geschichtlicher Abriss und aktuelle Überlegungen zu der Idee, die Lernschwierigkeiten im Unterricht durch die intensivere Berücksichtigung von Schülervorstellungen zu mindern

Die Situation ist vertraut: Trotz intensiver Bemühungen versteht ein Gegenüber unsere Erläuterungen unzureichend, falsch oder gar nicht. Besonders im Unterricht, in dem viele Informationen zwischen Menschen ausgetauscht werden, kommt es häufig zu Missverständnissen und in deren Folge zu Lernschwierigkeiten bei Schülern. Die Berufserfahrung von Lehrern zeigt, dass es bestimmte Themen und Sachverhalte gibt, die trotz großer Anstrengungen - von mehrfachen Erläuterungen über Tafelanschriften, Filme bis hin zu aufwendigen Demonstrations- und Schülerexperimenten - nur mit auffallend geringem Erfolg zu unterrichten sind: Grundlegendes wird missverstanden, Wichtiges nach dem Unterricht sofort wieder vergessen und beim Anwenden der Unterrichtsinhalte auf neue Probleme argumentieren die Schüler sogar so, als hätte der Unterricht nie stattgefunden.

Der mangelnde Kompetenzzuwachs äußert sich in vielerlei Hinsicht. Speziell im Biologieunterricht ist bei Versuchen der Schüler, ihr erlerntes "Wissen" wiederzugeben bzw. anzuwenden, zu beobachten:

1. Biologische Zusammenhänge werden oft nicht oder nur ansatzweise verstanden.
2. Viele Fachausdrücke sind geläufig, können aber häufig nicht mit Inhalt gefüllt werden.
3. Unterrichtsinhalte werden selten korrekt zur Erklärung von Alltagsphänomenen angewandt. Vielfach findet ein Vermischen von vorunterrichtlichen Vorstellungen, die aus fachlicher Sicht nicht oder nur teilweise korrekt sind, und dem vermittelten Fachwissen statt (vgl. GERHARDT, PIEPENBROCK & RUSCHE 1993; GERHARDT, RASCHE & RUSCHE 1993).

Die Rolle der Schülervorstellungen als eine Ursache für Lernschwierigkeiten wird in der Fachdidaktik seit ca. 30 Jahren vermehrt analysiert.

Das Spektrum der möglichen Ursachen für die aufgezeigten Lernschwierigkeiten ist weit und reicht z.B. von der Intelligenz, dem Stand der kognitiven Entwicklung und Lernhaltung (Motiviertheit und Selbstvertrauen) der Schüler über Schul- und Klassenklima bis hin zur Lehrerpersönlichkeit und den mit ihr verbundenen Einflüssen auf den Unterricht (vgl. Abb. 1-4 und 1-5). Noch vor ca. 30 Jahren fand die didaktische Diskussion zur Verminderung der skizzierten Lernschwierigkeiten vielfach innerhalb dieser aufgezeigten Bandbreite und damit vor allem im inner-schulischen Bereich statt. Seit Mitte der 70er Jahre jedoch konzentriert sich bei vielen (fach)didaktischen Arbeitsgruppen im In- und Ausland, die sich mit den Ursachen von Lernschwierigkeiten in naturwissenschaftlichen Fächern beschäftigen, die Aufmerksamkeit auf den außerschulischen Bereich. Insbesondere die Vorstellungen, die Schüler in ihrer meist außerschulischen Alltagswelt sammeln und vor Unterrichtsbeginn von der zu lernenden Thematik besitzen und mit in den Unterricht einbringen, treten seitdem vermehrt in den Blickpunkt des Interesses. Als durch zahlreiche Studien - zunächst aus dem Bereich der Physik- und Chemie und in den letzten Jahren auch vermehrt aus der Biologiedidaktik (Überblick in PFUNDT & DUIT 1994, 2000) - deutlich wurde, dass Schülervorstellungen, die wissenschaftlichen Erkenntnissen widersprechen, in allen untersuchten Fachgebieten unabhängig von Schulform und Altersklasse in beachtlichem Maße *inhaltlich ähnlich* sowohl *vor* als auch *nach* entsprechendem Fachunterricht auftreten, wurde die Hoffnung geweckt, mit der verstärkten Berücksichtigung von Schülervorstellungen einen entscheidenden Faktor zur Verbesserung naturwissenschaftlichen Unterrichts gefunden zu haben. Die Erforschung solcher vorunterrichtlichen Vorstellungen, die, Fachunterricht zum Trotz, zu einem beachtlichen Teil unverändert die Schulzeit überstehen oder sich während dieser sogar noch festigen, wurden zu einem wichtigen Forschungsgebiet der aktuellen naturwissenschaftlichen Didaktik.

Lernpsychologische und fachdidaktische Untersuchungen, die dabei den Zusammenhang zwischen naturwissenschaftlichem Denken und Alltagsvorstellungen analysieren, greifen neben den Wörtern "Schülervorstellung" und "Alltagsvorstellung" auf eine Vielzahl anderer Begriffe zurück. Be-



Abb. 3-2: Vorunterrichtliche Kenntnisse können kontraproduktiv zu den Lernzielen des aktuellen Unterrichts sein.
(Schülerbeitrag, Quelle unbekannt)

griffe wie "Fehlvorstellung", "Konzept", "Präkonzept", "Vorverständnis" oder die angelsächsischen Begriffe "alternative framework", "notion", "belief system", "conception", "preconception" und "misconception" werden in diesem Kontext verwandt. Diese verschiedenen Ausdrücke sind keineswegs gleichbedeutend. Nach Duit spiegelt die große Anzahl an Begriffen die Vielfalt der Theorien und die unterschiedlichen Akzentsetzungen in diesem Forschungsgebiet wider (DUIT 1994) (Eine Begriffsklärung für den Rahmen dieser Arbeit wird in Kapitel 3.1.4, S. 86f geleistet.). Trotz der hohen Anzahl verschiedenartiger Strömungen ist den meisten Ansätzen in Bezug auf den Lernenden *eine* grundlegende Überzeugung gemeinsam: Der Schüler ist "kein leeres Blatt", auf das der Lehrer sorgfältig präparierten Lernstoff schreibt. Vielmehr bringen Schüler (und Lehrer) eine Vielzahl unterschiedlicher Vorstellungen, Denkweisen und Erwartungen aus ihren Alltagserfahrungen mit in den Unterricht, die sich teilweise widersprechen oder/und nicht den aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen genügen. Zwischen Schülern und Lehrern einerseits und den im Unterricht behandelten Sach-, Sinn- und Problemzusammenhängen andererseits bestehen immer vor Unterrichtsbeginn vielfältige, wenn auch oft versteckte Beziehungen. Selbst die Unterrichtsthemen, die Schülern völlig neu erscheinen, können dabei nur auf Grundlage der zuvor gemachten Wirklichkeitserfahrungen interpretiert werden (vgl. Kap. 3.1.3). Solche "Vor-Interpretationen" (MEYER 1993) sind nicht auszuschalten (schon gar nicht mit dem Spruch: "Vergesst mal alles, was ihr bisher gelernt habt.") und führen dazu, dass das vom Lehrer oder Lehrmedium Präsentierte nicht so verstanden wird, wie es eigentlich gemeint war. Kurz: Vorstellungen, die ein Schüler vor Beginn eines Lernprozesses vom Lerngegenstand selber hat, beeinflussen nachhaltig den Lernprozess und können zu tiefgreifenden Lernschwierigkeiten führen; oder wie AUSUBEL et al. (1980) formulieren: "Der wichtigste Faktor, der Lernen beeinflusst, ist das, was der Schüler vor dem Lernen weiß."

Von dieser konstruktivistischen Grundauffassung vom Lernen (vgl. Kap. 3.1.2) leitet sich der in der vorliegenden Arbeit verfolgte methodische Ansatz zur Verminderung von Lernschwierigkeiten im Schulfach Biologie ab. Er lautet: *Biologieunterricht ist effizienter, wenn er auf der Grundlage von Schülervorstellungen konzipiert wird, d.h., wenn sowohl der methodische Zugang als auch die Unterrichtsinhalte und -materialien konkret nach Schülervorstellungen ausgerichtet werden* (GERHARDT 1994, 1994b; GERHARDT & BURGER 1997).

Wie bereits angedeutet, ist der hier verfolgte Lösungsansatz *einer* von vielen denkbaren Ansätzen zur Verminderung von Lernschwierigkeiten (vgl. u.a. REINMANN-ROTHMEIER & MANDL 1998). Andere Lösungsstrategien bleiben in der vorliegenden Arbeit weitgehend ausgeklammert. Mit der Auswahl dieses Ansatzes ist jedoch *nicht* eine Wertung anderer Lösungsstrategien verbunden!

Die Wichtigkeit von vorunterrichtlichen Schülervorstellungen bei der Unterrichtsgestaltung ist schon lange vor der aktuellen Diskussion zu Schülervorstellungen bekannt.

Der Gedankengang, dass das Gehirn eines Lernenden keine "tabula rasa"¹ sei und deshalb vorunterrichtliche Kenntnisse bei der Unterrichtsplanung und -durchführung berücksichtigt werden sollten, ist keineswegs neu. Wie alt dieser Gedankengang ist, ist schwer zu bestimmen. Bereits vor über 150 Jahren formulierte DIESTERWEG im Jahr 1835 erstmals erschienenen Werk "Wegweiser zur Bildung für Deutsche Lehrer":

"Beginne den Unterricht auf dem Standpunkt des Schülers, führe ihn von da aus stetig, ohne Unterbrechung, lückenlos und gründlich fort! Der Standpunkt des Schülers ist der Ausgangspunkt.

¹ Die Idee, dass der menschliche "Geist" bei der Geburt eine "tabula rasa" sei und sämtliches Wissen durch Erfahrung erlange, stammt von LOCKE (veröffentlicht 1690, zitiert nach MÜLLER 1996).

Dieser ist also vor dem Unterricht zu erforschen. ... Ohne die Kenntnis des Standpunktes des Schülers ist keine ordentliche Belehrung möglich." (zitiert nach JUNG 1985).

Diese Voraussetzung DIESTERWEGs zur Unterrichtsvorbereitung hat in vielfältigen Variationen Eingang in die allgemeine und fachspezifische didaktische Literatur gefunden. So ist z.B. unter der Kapitelüberschrift "Das Vorverständnis der Schüler beachten" auch in den verbreiteten fächerübergreifenden "Unterrichtsmethoden, Teil II: Praxisband" von MEYER (1993) zu lesen: "Seit jeher ist in der Pädagogik gefordert worden, 'den Schüler dort abzuholen, wo er steht'. Dort, wo der Schüler steht, nämlich seine Vorstellungen, sind für Lehrer ein wichtiger (Erfahrungs-) Hintergrund, um möglichen Verständnisschwierigkeiten der unterrichteten Schüler entgegenwirken zu können. LEINHARDT (1987) stellt fest: Lehrer mit hoher Fachkompetenz können (während des Unterrichts) eher herausfinden, welche Missverständnisse die beobachteten Fehler anzeigen und auf welche fehlenden Lernvoraussetzungen sie hinweisen. Diese Aussage gilt nach dem oben formulierten Lösungsansatz für Lernschwierigkeiten im naturwissenschaftlichen Unterricht auch - oder gerade - für die "Fachkompetenz" in Bezug auf den "Standpunkt des Schülers" bzw. die Schülervorstellungen; und zwar nicht nur während des Unterrichts, sondern auch bei der Unterrichtsplanung, um auf zu erwartende Schwierigkeiten angemessen inhaltlich und methodisch reagieren zu können. SHULMAN (1986) spricht in diesem Zusammenhang von "specific pedagogical knowledge" und stellt inhaltsbezogenes pädagogisches Wissen als wesentliche Lehrkompetenz heraus; Hauke (1981) betont die notwendige Sensibilität von Lehrern gegenüber den "spezifischen Denkweisen der Schüler" (vgl. Textbox).

Wenn dieser Gedankengang zu Schülervorstellungen so alt und wegen seiner einleuchtenden Wichtigkeit weit verbreitet und demnach wohl auch häufig von Lehrern beim Lehren beachtet zu sein scheint, bleibt die eingangs gestellte Frage weiterhin offen: "Warum dennoch eine Arbeit zu Schülervorstellungen durchführen?". Zudem stellt sich die Frage: "Was ist an dem methodischen Ansatz dieser Arbeit eigentlich neu?".

"Die Schüler verstehen auf der Basis ihrer Vorstellungen nicht zutreffend, was der Lehrer präsentiert, dieser wiederum versteht nicht genau, was die Schüler antworten, weil er versucht, die Antwort aus seiner Perspektive zu verstehen."
(DUIT 1995)

Durch die Weiterentwicklung im Rahmen des methodischen Ansatzes dieser Arbeit wird die Berücksichtigung der Schülervorstellungen bei der Planung und Durchführung von Unterricht praxisnäher.

"Mein Mentor sagt immer, daß man die Schüler dort abholen soll, wo sie stehen. Aber bisher habe ich keinen kennengelernt, der mir sagen konnte, wo meine Schüler stehen." (MEYER 1993).

Dieses Zitat einer Berufsschullehrerin aus dem oben erwähnten Kapitel der Unterrichtsmethoden von MEYER weist auf Gründe für eine gründliche Analyse von Schülervorstellungen und auf das *Neue* in diesem methodischen Ansatz hin.

1. Eine umfassende Bibliothek, in der Vorstellungen geordnet nach persönlichen Schülerdaten (mögliche Kriterien sind Alter, Geschlecht, Schulform, naturwissenschaftliches Interesse, usw.) und Sachgebieten aufgelistet sind, gibt es in Ansätzen erst für eine Auswahl an Themengebieten der Naturwissenschaften (DUIT 1995) und vor dieser Arbeit noch nicht für Schülervorstellungen zu Energie im biologischen Kontext im deutschsprachigen Raum.

Die Kenntnisse über tatsächlich existierende - und nicht nur von Lehrern vermutete - vorunterrichtliche Schülervorstellungen sind aus diesem Grund zu Beginn der Lehrtätigkeit der meisten Pädagogen nahe Null. Sie wachsen erst (und z.Zt. wegen zumeist fehlender Schülervorstellungs-Bibliotheken fast ausschließlich) mit zunehmender Berufserfahrung. Bevor die Kenntnisse von Schülervorstellungen zu bestimmten Schülergruppen (charakterisiert durch obige Kriterien) und Sachgebieten bei Pädagogen nicht ein praxisnahes Niveau erreicht haben (vgl. hierzu Kap. 5), wird der bis dahin - wohl über viele Jahre - erteilte Unterricht der o.g. Forderung DIESTERWEGs, den Standpunkt des Schülers als Ausgangspunkt für Lehrtätigkeiten zu nutzen, nicht entsprechen und deshalb zumindest nicht optimal gestaltet werden können. HOLLON & ANDERSON (1986) fassen die Situation so zusammen: Das Wissen um die naturwissenschaftlichen Denkweisen der Schüler stellt eine wichtige Variable dar, die die Fähigkeit eines Lehrers, Naturwissenschaften effektiv zu unterrichten, begrenzen kann. Zu den Wissensvoraussetzungen eines erfolgreichen Lehrers zählen deshalb allgemeines pädagogisches Wissen, fundiertes Fachwissen und das beide Bereiche bei der unterrichtlichen Anwendung stimulierende Wissen über Schülervorstellungen². Aber die gegenwärtigen Aus- und Weiterbildungsveranstaltungen versorgen Lehrer, trotz einer über zwei Jahrzehnte bereits andauernden Debatte über Schülervorstellungen, noch immer nicht mit den notwendigen Informationen über die Muster naturwissenschaftlichen Denkens, was Gespräche mit Referendaren und Fachleitern für Biologie des Ausbildungsseminars Detmold auch 15 Jahre nach der Aussage von HOLLON & ANDERSON bestätigen. Auch die Kenntnisse entsprechender Methoden, sich selbst mit Schülervorstellungen zu versorgen, sind vielen Lehrern zu wenig bekannt. HAMMER (1994) fordert deshalb, bereits in der Ausbildung zum Lehrer Fähigkeiten zur Ermittlung von Schülervorstellungen zu vermitteln.

2. Lehrer, die ihre Aufgabe nicht darin sehen, Schülervorstellungen vor, während oder nach dem Unterricht mit einer angemessenen und für sie persönlich standardisierten Methode zu ermitteln, werden im täglichen Schulalltag ihre *Kenntnisse zu Schülervorstellungen subjektiv, eher zufällig und in sehr unterschiedlichen Situationen gewinnen*. Nach eigenen Erfahrungen dürfte diese unstandardisiert stattfindende Art der Vorstellungsermittlung im Schulbetrieb bei nahe 100 Prozent liegen - sie ist jedoch in zweifacher Hinsicht unbefriedigend: Erstens können die gewonnenen Einblicke in die Vorstellungsinhalte in Hinblick auf die kurze Zeit, die die verschiedenen Inhalte im Unterrichtsgeschehen thematisiert werden, und in Hinblick auf die große Anzahl unterschiedlichster Lerninhalte sowohl zu jedem einzelnen Thema als auch auf das gesamte Spektrum der Themen bezogen nur stark lückenhaft sein. Zweitens sind die z.B. in Pausengesprächen, Unterrichtsdiskussionen oder Leistungsüberprüfungen gewonnenen Kenntnisse wegen der verschiedenen Ausgangssituationen und den damit verbundenen wechselnden Einstellungen der beteiligten Personen (u.a. Ernsthaftigkeit, Vollständigkeit der gemachten/beobachteten Aussagen - vgl. Kap. 4.5.2, S. 141f) nicht direkt miteinander vergleichbar. Deshalb besteht die Gefahr von Fehldeutungen. MILLER-KIPP (1995) schreibt deshalb meiner Ansicht nach zu Recht: "Wir fordern (...) eine empirische Wissensbasis und meinen damit Tatsachenwissen anspruchsvollerweise nicht auf der Ebene von - pädagogischer - Alltagserfahrung, sondern auf der Ebene von Wissenschaft, also methodisch erarbeitetes und logisch geprüftes Wissen."

² Diese Aussage wird im Rahmen des Modells zur "Didaktischen Rekonstruktion" diskutiert und zur praktischen Anwendung gebracht (Übersicht in KATTMANN, DUIT, GROPEGIEBER & KOMOREK 1997).

3.1.2 Konstruktivismus und vier didaktisch relevante Kernaussagen dieser Wissenstheorie

Der Begriff "Konstruktivismus" im Rahmen dieser Arbeit meint nicht ein alltagssprachliches Verständnis, wie etwa "planvolle intentionale Herstellung von etwas" oder die "funktionalistische Stilströmung des 20. Jahrhunderts, die die konstruktiven Bild- und Architekturelemente bis zum Ausschalten aller anderen betont" (vgl. BERTELSMANN 2000). Vielmehr meint er Prozesse, "in deren Verlauf Wirklichkeitsentwürfe sich herausbilden (...) gemäß den biologischen, kognitiven und soziokulturellen Bedingungen, denen sozialisierte Individuen in ihrer sozialen und natürlichen Umwelt unterworfen sind" (MERTEN, SCHMIDT & WIESCHENBERG 1994, vgl. Abb. 3-4). Konstruktivismus wird als eine "Wissenstheorie" (v. GLASERSFELD 1991) verstanden, die trotz verschiedener "Spielarten" die Kernthese vertritt: Jeder Mensch erlebt stets nur seine wie auch immer zustandegekommene "Erfahrungswirklichkeit". WINN (1993) formuliert "students construct knowledge for themselves". "Wirklichkeit ist beobachterabhängig - dies ist der kleinste gemeinsame Nenner in dieser Diskussion." (SIEBERT 1999).



**Abb. 3-4: Vorstellungen ändern sich:
Eine viable Weltanschauung aus dem
Mittelalter**

(aus STEGEMANN 1978, hier ohne
Angaben zu Maler und Titel)

Die Wurzeln der Wissenstheorie "Konstruktivismus" sind alt.

Schon in der antiken Philosophie wurde von den Skeptikern des Realismus die Unmöglichkeit postuliert, den Wahrheitswert einer Erkenntnis zu überprüfen, da sich jegliche Art der Überprüfung auf eine andere frühere Erkenntnis stützen müsste (v. GLASERSFELD 1997; MEIXNER 1997). Die Skeptiker versuchten darzustellen, dass sich die Annahme eines möglichen Zuganges zur Wirklichkeit nur in Widersprüche verstricken kann, da wir als erkennende Wesen in unseren eigenen Vorstellungen gefangen sind (GOORHUIS 1998). Diese zirkuläre Gefangenheit des Menschen wurde über die Jahrhunderte immer wieder von Philosophen diskutiert³. Das wohl bekannteste Diktum dieser Diskussionen stammt von KANT, der herleitete, dass wir die Dinge nicht erkennen können, wie sie "an sich" sind, sondern nur, wie sie "für uns" sind (STORK 1995⁴).

Die aktuellen Überlegungen zu der Wissenstheorie "Konstruktivismus" werden international und interdisziplinär diskutiert⁵.

³ Da diese Diskussion für die verfolgten Ziele dieser Arbeit keine Relevanz hat, sei an dieser Stelle nur auf einen ausführlichen Überblick zu den Vorläufern konstruktivistischen Denkens verwiesen: vgl. FISCHER (1990); MEIXNER (1997).

⁴ STORK bezieht sich auf folgende 3 Werke KANTS:

- Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik, die als Wissenschaft wird auftreten können. Originalausgabe (1783)
- Kritik der reinen Vernunft. Zweite Auflage (1787)
- Anthropologie in pragmatischer Hinsicht. (1798)

⁵ JANISCH (1996) macht darauf aufmerksam, dass allgemein in der Konstruktivismusdiskussion und speziell in Bezug auf Werke zur Einführung in den "Konstruktivismus" (wie z.B. WATZLAWICK 1995) wenige bzw. keine Hinweise auf die Konstruktivismusdiskussion der Erlanger Schule zu finden sind. Eine Diskussion zu Parallelen und Unterschieden zwischen dem Erlanger Konstruktivismus und anderer Konstruktivismen wird von ihm geführt. In Hinblick auf die für diese Arbeit bedeutenden "didaktischen Aspekte" des Konstruktivismus erscheint diese Diskussion unerheblich.

Impulse stammen u.a. von Gestaltpsychologen wie METZGER (1986) und KÖHLER (1958), "konstruktivistischen" Psychologen wie PIAGET (1974), Vertretern der kognitiven Psychologie wie GERSTENMAIER & MANDL (1995), Neurophysiologen wie MATURANA & VARELA (1987) und ROTH (1995), Kybernetikern wie v. GLASERSFELD (1997) und v. FOERSTER (1993), Kommunikationstheoretikern wie WATZLAWICK (1995) sowie von Soziologen wie BERGER & LUCKMANN (1969) und LUHMANN (1997).

Die entwickelte konstruktivistische Sichtweise stellt dabei kein einheitliches Gedankengebäude dar, ist "keine konsistente Theorie" (DUIT 1995), sondern sie wird in einer Vielzahl von Fachwissenschaften, wie oben angedeutet etwa in der Soziologie, Kybernetik, Literaturwissenschaft, Psychologie, Philosophie und Pädagogik, und deren Anwendungsbereichen, wie etwa den Managementlehren oder den Naturwissenschaftsdidaktiken, mit z.T. deutlich unterschiedlichen Argumentationslinien diskutiert. SIEBERT (1996) spricht von einer "Umbrella-Theorie", die unterschiedliche Positionen überdacht. Durch Attribute wie "radikaler" und "sozialer" oder "erkenntnistheoretischer" und "lerntheoretischer" Konstruktivismus - um nur einige Pole zu nennen - werden die unterschiedlichen Schwerpunkte (in Hinblick auf Anwendungsbereich bzw. Argumentationslinien) betont und damit die Abgrenzungen zu anderen Konstruktivismen herausgestellt (zur Namensgebung vgl. RUSCH 1987). Da allerdings verschiedene Autoren in der Absicht, ihre eigene Stellung zu verdeutlichen, die unterschiedlichen Strömungen der "unübersichtlichen" Konstruktivismusdiskussion (GERSTENMAIER & MANDEL 1995; SIEBERT 1999) mit unterschiedlichen Attributen zu ordnen versuchen (EDELSTEIN 1993), fällt ein Überblick und ein widerspruchsfreies Klassifizieren schwer⁶ (RUSCH & SCHMIDT 1992).

Konstruktivistische Fragestellungen berühren die alltägliche Auffassung von Wissen, Realität und Lernen.

Menschen nehmen während ihres Lebens "nicht ererbte Informationen" auf, speichern und verarbeiten sie – Menschen lernen. Diese Fähigkeit des ständigen Lernens wird zumeist jedoch erst dann bewusst, wenn das Lernen nicht sofort gelingt, wenn wir üben müssen bzw. schon Gelerntes nicht wie gewohnt abrufbar ist. Das die meiste Zeit unbewusst ablaufende Lernen hat zur Folge, dass bestimmte Annahmen, die Lernprozessen zugrundeliegen, nur selten reflektiert werden. So gehen Menschen im alltäglichen Leben mit groß empfundener Sicherheit davon aus, dass sie durch ihre Sinne das objektiv Gegebene (HÜGLI & LÜBCKE 1997) erfahren und deshalb ihr angehäuften Wissen und ihre Vorstellungen als Teilrepräsentation der Realität zu verstehen sind. Was Menschen wissen oder sich vorstellen ist das Ergebnis ihrer Erforschungen der Wirklichkeit (zum Vergleich der Begriffe "Wissen" und "Vorstellungen" vgl. Kap. 3.1.3.1, S. 63). Ob es wirklich "objektiv Gegebenes" gibt und ob Wissen dabei wirklich als Abbild der Realität verstanden werden kann, wird nicht hinterfragt. Dies ist im alltäglichen Leben auch nicht nötig, denn: Die Sinnhaftigkeit des Aufnehmens und Anwendens von Wissen ist durch die Annahme bestimmt, dass Wissen und Wirklichkeit übereinstimmen, dass die durch Lernen entwickelten Vorstellungen von der Wirklichkeit und die darauf aufbauenden Verhaltensweisen in der gleichen, zuvor als Informationsquelle benutzen Umwelt sinnbringend wieder angewandt werden können. Solange diese Annahme nicht gestört wird, bewerten Menschen ihre Wahrnehmungen im alltäglichen Leben als "objektive" Wirklichkeit und fassen Wissen als Teilrepräsentation der Realität auf.

⁶ Einige Autoren wie MATURANA & VARELA stützen zwar das Gedankengut des Konstruktivismus, benutzen aber nicht den Begriff selber (SIEBERT 1999).

KRÜSSEL (1995) fasst in Bezug auf den Menschen als Beobachter seiner Umwelt zusammen: "Fester Bestandteil des alltäglichen wie des wissenschaftlichen abendländischen Denkens ist die Vorstellung, daß der Mensch der äußeren Welt, der Natur, als unabhängiger Betrachter gegenübersteht."

Die Aussagen des Konstruktivismus richten sich gegen diese Annahmen der klassischen realistischen Erkenntnistheorie zu Objektivität und Erkenntnis, die in Anlehnung an WEBER (1996) wie folgt zusammengefasst werden können:

- Wir existieren in einer objektiven Welt, die erkannt werden kann und über die wir kognitive Aussagen machen können (z.B. Naturgesetze), um sie so als eine von uns, ihren Beobachtern, unabhängig bestehende Realität zu "enthüllen".
- Wir gewinnen Erkenntnisse durch unsere Sinnesorgane, und zwar durch den Prozess der "Abbildung der objektiven Außenwelt auf unser Nervensystem, und passen unser Verhalten der durch diese Abbildung ausgewiesenen Struktur der Welt an". Sinnesorgane sind dabei "die Tore des Gehirns zur Welt; durch sie strömt jeweils spezifisch benötigte Information ins Gehirn ein (...)" (ROTH 1995). "Die Sinne werden als eine Art Nachrichtensystem betrachtet, das unterschiedliche Aspekte der ontischen Welt in das Bewußtsein des Erlebenden leitet." (v. GLASERSFELD 1997).
- Information ist eine reale physikalische Größe, die als charakteristische Eigenschaft der Organisation eines beobachtbaren Systems objektiv gemessen werden kann. Lernen ist demnach das rezeptive Aufnehmen und Speichern von vorgegebenen Informationen. Kognition⁷ ist Repräsentation objektiver Welten.

Didaktisch relevante Kernaussagen konstruktivistischer Theorien:

Die in den letzten Jahren geschriebenen und zu diesem Kapitel gerichteten Veröffentlichungen zu didaktischen Konsequenzen konstruktivistischer Überlegungen⁸ sind z.T. sehr umfangreich und geben durch ihre Analysen der menschlichen Informationsverarbeitung Hilfestellungen beim Verständnis von Schüler-Lernverhalten. Es liegt jedoch keine kompakte Zusammenfassung von didaktisch relevanten Aussagen der konstruktivistischen Diskussion vor, die sich konkret auf didaktische Entscheidungen zur inhaltlichen und methodischen Planung und Durchführung von Biologieunterricht im Klassen- und Kursverband unter besonderer Berücksichtigung von Schülervorstellungen anwenden lässt. Ziel dieser Aufarbeitung konstruktivistischer Literatur ist es deshalb, die vielen konstruktivistischen Gedankengänge (unabhängig, von welchem Pol sie stammen) zu sichten, in Hinblick auf die Erreichung der Ziele dieser Arbeit zu selektieren und in Bezug auf die beiden Ebenen, in denen Unterrichtsverbesserung im traditionellen Gruppenverband ansetzen kann (vgl. Abb. 1-4 und 1-5), prägnant zusammenzufassen. Hierzu werden die grundsätzlichen Gedankengänge, die Kernaussagen des interdisziplinären Konstrukts "Konstruktivismus", für didaktische

⁷ Das Wort stammt vom lat. *cognitio* = "Wahrnehmung, Erkenntnis" ab. Kognition umfasst nach SOSSINKA et al.(1988) in der Humanpsychologie alle mit dem Beurteilen, Einschätzen und Bewerten einer Situation bzw. eines Sachverhalts zusammenhängenden Prozesse. Hierzu gehören bewusste Wahrnehmung, Denken, Erkennen, Vorstellen, Urteilen, Gedächtnis, Lernen und Sprache. Mit Hilfe kognitiver Prozesse erhält das Individuum Kenntnisse von sich selbst und seiner Umwelt. WESSELLS (1984) verbindet mit Kognition alle Arten von Informationen, die wir in unserem Gedächtnis haben, und diejenigen Vorgänge, die sich auf die Aufnahme, das Behalten und Verwenden solcher Informationen beziehen.

⁸ Von den zahlreichen Veröffentlichung, auf die sich diese Arbeit bezieht (vgl. Literaturverzeichnis), sind folgende übergreifende Arbeiten hervorzuheben: DUBS (1995), MEIXNER (1997), MÜLLER (1996), SIEBERT (1996, 1999), REICH (1998), VOSS (1996), WYRWA (1995).

Entscheidungen im Schulalltag herausgearbeitet. Dabei werden sowohl die Bedeutungen wichtiger Begriffe, wie z.B. Wirklichkeit und Wissen, aus konstruktivistischer Sicht erläutert als auch wichtige übergreifende Argumentationsstränge⁹ der Konstruktivismusdebatte formuliert.

Zur Gliederung:

Die zu vier Kernaussagen zusammengefassten für didaktische Überlegungen relevanten Grundauffassungen des Konstruktivismus werden jeweils in Form einer These aufgeführt, kurz erläutert und anschließend durch Aussagen verschiedener Autoren belegt, die das Gedankengebäude des Konstruktivismus von unterschiedlichen Disziplinen her kommend stützen.

Wegen der inhaltlichen Nähe der vier Kernaussagen und bedingt durch den Umstand, dass viele Autoren in ihren Ausführungen sich übergreifend zum Konstruktivismus äußern und damit die hier vorgenommene Gliederung konstruktivistischer Gedankengänge in vier didaktisch relevante Kernaussagen nicht mittragen, sind in den folgenden Ausführungen Überschneidungen in Form von Vor- und Rückgriffen auf andere Kernaussagen unvermeidlich.

Kernaussage 1: Wirklichkeit wird von autopoietisch und selbstreferentiell agierenden Menschen emergent konstruiert.

Beobachtungen von Menschen sind subjektabhängig und fallen sehr verschieden aus. Beobachtungen entstehen dabei in unterschiedlichen wahrnehmungsbedingten Erfahrungswelten (abhängig von Vorwissen, Überzeugungen und mentalen Strukturen) und wurzeln in unterschiedlichen Vergangenheiten der Beobachter. Beobachter verknüpfen dabei nicht planbar ihre Erfahrungen zu Erkenntnissen und konstruieren so individuelle Wirklichkeiten (vgl. Abb. 3-5).

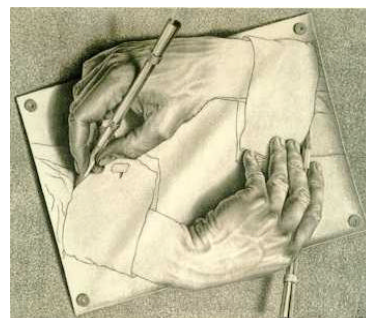


Abb. 3-5: Zeichnende Hände
(MC Escher, 1948)

Menschliche Erkenntnis ist konstruiert und hat damit subjektbezogenen Charakter: Dieser Umstand wird von den beiden chilenischen Neurobiologen Maturana & Varela (1987) wie folgt beschrieben: Lebende Systeme arbeiten autopoietisch¹⁰ als operational geschlossene und damit autonome Systeme. Die Autopoiese der Lebewesen bedeutet dabei nicht, dass das Subjekt keine Energie und Information aus der Umwelt verarbeitet. Entscheidend ist vielmehr, dass die "Impulse" aus der Umwelt von den Organismen eigenständig ausgewählt und entsprechend ihrer individuellen Möglichkeiten umgewandelt werden. "Gehirne haben keinen unmittelbaren Kontakt zur Umwelt (...) Damit Um-

⁹ In Anlehnung an Gerstemaier & Mandel (1995), die folgende Varianten/Bereiche des Konstruktivismus unterscheiden: 1. Konstruktivismus als Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie; 2. "Neuer" Konstruktivismus in der Soziologie, Kognitionswissenschaft und Psychologie; 3. Konstruktivistische Ansätze in der Instruktionspsychologie und empirischen Pädagogik.

In Anlehnung an Krüssel (1995), der folgende "Argumentationsstränge" nennt: 1. Die philosophische Argumentation; 2. Die kognitionspsychologische und wissenssoziologische Argumentation; 3. Die sprachwissenschaftliche Argumentation; 4. Die neurophysiologische Argumentation; 5. Die system(theoretische) Argumentation.

¹⁰ Autopoietisch sind Systeme, die

(a) ihre Bestandteile sich rekursiv selbst produzieren (vgl. auch Abb. 3-5) und

(b) dadurch eine Grenze zur Umwelt konstituieren (Schmidt 1987; Fischer 1991).

Autopoietische Systeme sind dadurch "abgeschlossen" (Jantsch 1984). Maturana (1982) beschreibt sie als lebende Systeme, die sich selbst erzeugen, selbst organisieren, selbst erhalten und selbstreferentiell sind. Selbstreferentiell meint, dass jeder Zustand aus der Interaktion früherer Zustände resultiert (Roth in Weber 1996).

welt ereignisse überhaupt auf das Nervensystem einwirken können, müssen diese Prozesse umgewandelt werden (...)" (ROTH 1992). Diese Kernthese wird von MATURANA & VARELA (1987) in Bezug auf das Entstehen von Wissen (Erkenntnis) weiter ausgeführt: Unser Gehirn erfindet/erzeugt eigene Wirklichkeiten durch kognitive Tätigkeiten, wobei biographische Erfahrungen, Verwendungssituationen und "Viabilitätsüberlegungen" (vgl. Kernaussage 2) eine Rolle spielen. Kognitionen, die Prozesse des Wissenserwerbs durch Wahrnehmen, die Wissensrepräsentation durch das Erinnern im Gedächtnis und die Wissensanwendung beim Denken und Handeln (Problemlösen) erlauben dabei keine Repräsentation objektiver, ontischer Welten, keine Repräsentation von Realität.

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Konstruktion von Wissen ist die generelle zirkuläre Organisation des menschlichen Gehirns im Sinne einer kybernetischen Maschine. Das Gehirn gleicht nach einem Vergleich von v. FOERSTER (1995) einer nicht-trivialen Maschine¹¹, deren Ergebnis (hier Konstruktion von Wissen) nicht berechenbar, nicht determiniert und somit unbestimmt ist. Lebewesen, so v. FOERSTER, sind vergangenheitsabhängig und aufgrund (z.T. dadurch bedingter) "innerer Zustände" unvorhersagbar, sie sind gewissermaßen "undurchschaubar".

WYRWA (1996) differenziert "innere Zustände" aus: "Aufgrund der Vielzahl der daran beteiligten Faktoren, der Komplexität der Abläufe, der Vernetzungen der Abläufe, ihrer Abhängigkeiten von Tagesform, Stimmung, Erfahrungen, also von den situationalen und temporären Bedingungen des betreffenden perturbierten¹² Systems ist ein detaillierter und differenzierter Einblick in die Transformationsprozesse nicht möglich." Das Ergebnis einer Wissenskonstruktion ist aus den genannten Gründen prinzipiell für das konstruierende Subjekt und einen Beobachter weder voraussagbar (deshalb der sogenannte Aha-Effekt, von dem der Lernende überrascht ist), noch ist es für den Beobachter mit Bestimmtheit wahrzunehmen, da Wissensanwendung nur eine Disposition von neu konstruiertem Wissen ist. Kognitive Prozesse werden deshalb als "emergent"¹³ bezeichnet. Sie laufen in Lebewesen zumeist unbewusst ab (ARNOLD 1996). Die geschilderte Grundannahme des Konstruktivismus, dass die Wirklichkeit ein Konstrukt des Gehirns darstellt, lässt ROTH (1995, vgl. Abb. 3-6) zwischen einer objektiven, bewusstseinsunabhängigen, transphänomenalen Realität und der Wirklichkeit, die unser Gehirn konstruiert, unterscheiden: ROTHS Begriff der "Realität" ist dabei gleichzusetzen mit Kants "Ding an sich": Nach Kant existieren die Dinge in der uns umge-

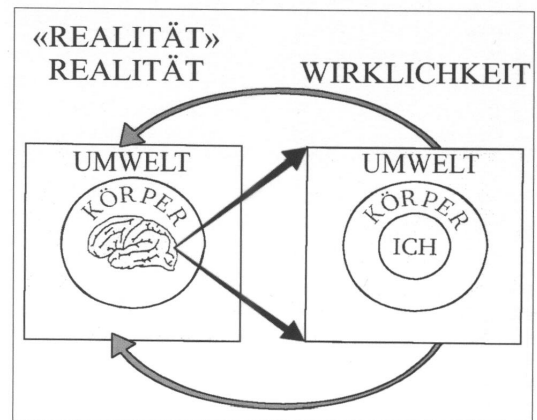


Abb. 3-6: ROTHS (1995) Begriff der Realität
Der Körper konstruiert "seine" Wirklichkeit, bestehend aus Umwelt, Körper und Ich.

¹¹ Von FOERSTER (1993) unterscheidet, um herauszustellen, was Lernen heißt, unter Bezug auf den britischen Mathematiker TURNING, zwischen "trivialen" und "nicht-trivialen" Maschinen. Eine triviale Maschine ist durch eine festgelegte Input-Output-Beziehung (einen Algorithmus) gekennzeichnet, während bei einer nicht-trivialen Maschine der Output durch den Input und den internen Zustand der Maschine bestimmt ist. Diese Zustände sind von der Vergangenheit abhängig und haben Auswirkungen auf die Transformationsregeln.

¹² Der Begriff "Perturbation" stammt laut SIEBERT (1999) von MATURANA & VARELA (1987) und bedeutet so viel wie "Anregung von außen" und kennzeichnet eine "als relevant empfundene Störung unserer Mensch-Umwelt-Beziehung" (SIEBERT 1996).

¹³ Nach KÜPPERS & KROHN (1992) bezeichnet Emergenz "das plötzliche Auftreten einer neuen Qualität, die jeweils nicht erklärt werden kann durch die Eigenschaften oder Relationen der beteiligten Elemente, sondern durch eine jeweils besondere selbstorganisierende Prozedynamik."

benden Welt nur als Bewusstseinsinhalte. Wie die Dinge "wirklich" beschaffen sind, kann der Mensch niemals erkennen, da seiner Wahrnehmung Grenzen gesetzt sind. Dennoch haben die "Dinge an sich" einen Einfluss, indem sie die menschlichen Sinne erregen. Dadurch kommt es zu einer Vielzahl von ungeordneten Empfindungen. Damit diese zu Bewusstseinsinhalten werden können, durchlaufen sie nach Kant einen Ordnungsprozeß des Verstandes. Dabei werden Anschauungsformen (Raum und Zeit) und Verstandesbegriffe (Einheit, Vielheit, Wechselwirkung und Notwendigkeit) wirksam. Diese Kategorien sind dem Menschen angeboren, frei von jeder Erfahrung und deshalb "rein". Sie gehören für Kant zum Bewußtsein und nicht zur Welt "an sich" (vgl. v. GLASERSFELD 1997). "Das "Ding an sich" ist für die menschlichen Erkenntnisse unerreichbar; vielmehr sind die Dinge in der Wirklichkeit immer nur *für uns*." (KRÜSSEL 1995).

Die Konstruktion von Wissen auf der Basis der physikalischen Welt ist von einem bestimmten Punkt an abgeschlossen (vgl. WYRWAR 1995). Uneinigkeit besteht darin, ob nach KANT die Wahrnehmungen und Vorstellungen mit Hilfe von im Bewusstsein a priori vorhandenen Anschauungsformen und Verstandesbegriffen geordnet werden oder ob diese ordnenden Strukturen zum Aufbau von Wissen von jedem Individuum erst neu konstruiert werden müssen (Aussage zu KANT vgl. STORCK 1995; Diskussion zur KANTschen Position vgl. Diskussion im Anhang von v. GLASERSFELD 1997).

Die Prozesse zur Konstruktion von Wissen werden dabei innerhalb organischer (und sozio-kultureller, vgl. Kernaussage 3, S. 58) Ordnungsstrukturen determiniert: Die Konstruktionsmöglichkeit eines Organismus ist immer an seine eingeschränkten Konstruktionsfähigkeiten gebunden. Einschränkend wirken dabei einerseits die anatomischen Gegebenheiten des Gehirns (Aufbau, Unterteilung in Arbeitsbereiche, afferente und efferente "Grobverdrahtung" (ROTH 1995) sowie mögliche krankhafte Veränderungen der Strukturen) und andererseits die Funktionsbereitschaft und Leistungsfähigkeit der Sinnesrezeptoren. Eine Folge der eingeschränkten Konstruktionsfähigkeit ist, dass sinnliches Wahrnehmen - eine Voraussetzung zur Konstruktion von Wissen - durch das Denken für das Individuum unbewusst gesteuert und ergänzt wird (Ein Beispiel für diese z.B. durch Erfahrung gesteuerte Wahrnehmung ist in Abb. 3-7 "sinnlich wahrzunehmen"; vgl. ROTH 1992).

Von ähnlichen Grundannahmen geht PIAGET aus, wenn er argumentiert: Lernen ist ein Äquilibationsprozess: Jeder Organismus versucht, in Koexistenz mit seiner Umwelt zu leben, indem er sich ihr anpasst. Durch Assimilation, die Einordnung neuen Wissens in vorhandene Klassifikations- und Erklärungsmuster, und Akkommodation, die Veränderung dieser kognitiven Strukturen aufgrund von Perturbationen, werden dabei interne, zumeist zeitlich beschränkte Gleichgewichte erreicht, die damit den Aufbau "viabler begrifflicher Strukturen" (v. GLASERSFELD 1996) ermöglichen: "Wer seine Erfahrung organi-



Abb. 3-7: Ein Bild, das auf den ersten Blick nur aus bedeutungslosen Klecksen zu bestehen scheint. Wer einmal den Dalmatiner erkannt hat, wird ihn immer wieder erkennen.
(nach ZIMBARDO 1992)

siert, organisiert die Welt" (PIAGET 1974). Aussagen über die Welt sind also nicht mehr die "Entdeckung" eines Teilbereichs der Realität, sondern eine Konstruktion kognitiver Strukturen (PIAGET 1974, 1980). Realität ist also prinzipiell unerkennbar.

Kernaussage 2: Wissen ist eine kognitive Leistung des Subjekts und ermöglicht viable Dispositionen zum Überleben.

Wissen ist das Ergebnis der individuellen Konstruktion begrifflicher Strukturen zu als passend (viabel) wahrgenommenen Erfahrungen. Wissen ist für Lebewesen eine essentielle Voraussetzung zum Überleben, es wird von ihnen zu einer strukturierten und damit strukturierenden Welt geformt, hat damit einen instrumentellen Charakter und klärt nicht über Wirklichkeit auf (vgl. Abb. 3-8).

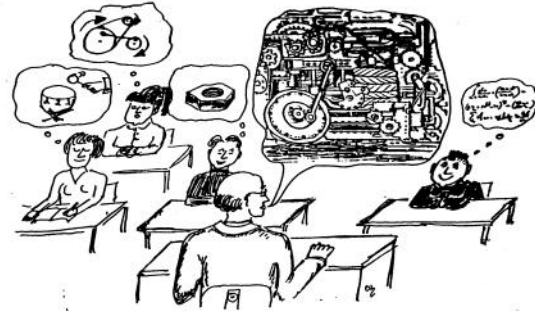


Abb. 3-8: Individuelle Konstrukte im Unterricht
(Schülerbeitrag, Quelle unbekannt)

Ob Wissen richtig oder falsch, angemessen oder unangemessen, hilfreich oder irreführend ist, zeigt sich einem Individuum durch den Umgang mit Wissen in seiner speziellen Umgebung. Ist Wissen viabel¹⁴, wird es von einem Individuum beim Anwenden als erfolgreich empfunden. Der Lernende überprüft dabei die Viabilität von Wissen in der Verknüpfung von Erfahrungen. Gelingt die Verknüpfung im aktuellen Kontext, entsteht Verstehen. "Erkenntnis (...) entspringt aus Tätigkeit" (PIAGET 1980) oder wie Sachsse (1988) in seinem Diskurs zur Wissenstheorie formuliert: "Es gibt keine andere Objektivität als die Bewährung (...).".

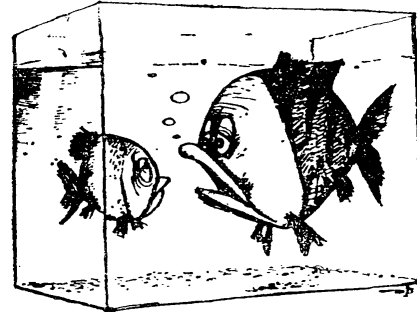
Wissen ist dem Erläuterten zufolge identitätsrelevant und lebensgeschichtlich bedeutsam. SCHMIDT (1987, 1994) bezeichnet deshalb Wissen auch nicht als im Gedächtnis abgelegte Bestandteile kognitiver Inhalte, sondern als die Fähigkeit, "in einer entsprechenden Situation adäquate kognitive Operationen durchführen zu können, die in der Situation ein Problem lösen". Kriterium unserer individuellen Welterzeugung ist nicht Wahrheit oder Objektivität, sondern Überlebensfähigkeit (Viabilität): "Es ist nicht Aufgabe des Gehirns und der Sinnesorgane, die Umwelt möglichst exakt und vollständig abzubilden oder die Welt zu erkennen, "so wie sie ist". Dazu sind sie (Gehirn und Sinnesorgane, Anmerkung des Autors) auch gar nicht in der Lage. Es ist vielmehr ihre Aufgabe, den Organismus zum Zweck des Überlebens und der Fortpflanzung an der Umwelt zu orientieren." (ROTH 1992). Von GLASERSFELD (1995) betont in Hinblick auf das Konstruieren von viabler Wirklichkeit und viablem Wissen den Zukunftsaspekt: "Statt einer ikonischen Beziehung der Übereinstimmung oder Widerspiegelung können wir hier die Beziehung des Passens einsetzen. Das heißt, daß wir in der Organisation unserer Erfahrungen stets so vorzugehen trachten, daß das, was wir da aus den Elementen der Sinneswahrnehmung und des Denkens zu-

¹⁴ Der Ausdruck "viabel" wird in der in dieser Arbeit zitierten Literatur einheitlich benutzt und kann mit den Worten gangbar, brauchbar, passend, funktional übersetzt werden.

sammenstellen - Dinge, Zustände, Verhältnisse, Begriffe, Regeln, Theorien, Ansichten und, letztendes, Weltbild - so beschaffen ist, daß es in dem weiteren Fluss unserer Erlebnisse brauchbar zu bleiben verspricht." Menschen lernen über ihre eigene Identität, um sie zu reorganisieren bzw. zu stabilisieren, nicht um eine fix vorgegebene Welt kennenzulernen.

Kernaussage 3: Erfahrungen und Wissen sind Resultate von sozialen Interaktionen.

In sozialen Interaktionen werden Bedeutungen ausgehandelt: Alte Bedeutungen können zurückgestellt und bisherige begriffliche Strukturen erweitert werden. In sozialen Prozessen geben Menschen Begriffen eine Bedeutung und verallgemeinern sie. Sie konstruieren dabei ihre Wirklichkeit so, dass ihr Lebensablauf ihnen plausibel erscheint, dass sie im Alltag routiniert handeln können und dass ihnen die Welt dabei halbwegs geordnet erscheint (vgl. Abb. 3-9).



„Die Welt, mein Sohn,
ist ein großer Kasten voller
Wasser.“

Abb. 3-9: Cartoon
(aus Seel 1991)

"Der Grundgedanke besteht also darin, daß kognitive Fähigkeiten untrennbar mit einer Lebensgeschichte verflochten sind (...). Daraus folgt, daß (...) Kognition nicht darin besteht, daß diese mit Hilfe von Repräsentationen Probleme löst, sondern daß sie vielmehr in kreativer Weise eine Welt hervorbringt, für die die einzige geforderte Bedingung die ist, daß sie erfolgreiche Handlungen ermöglicht: sie gewährleistet die Fortsetzung der Existenz des betroffenen Systems in seiner spezifischen Identität". (VARELA 1990).

Kognition ist demnach ein autopoietischer, selbstreferentieller, biographisch bedingter (vgl. Kernaussage 1), kommunikativer, sozialer, handlungsbezogener, aktiver Prozess, mit dem Ziel, viable Handlungen zu ermöglichen bzw. entsprechendes Wissen zu erzeugen (vgl. Kernaussage 2). Der Aspekt des Sozialen wird im folgenden weiter ausgeführt.

Neben dem physikalisch orientierten Konstruktionsprozess findet parallel und mit zunehmender Bedeutung bei jedem Individuum eine psycho-soziale Entwicklung statt. "Dieser Prozess betrifft die Herausbildung, Fixierung, Intensivierung, Deutung und Bewertung von Ansichten, Einstellungen, Erfahrungs- und Handlungsschemata als sozialisations- und individualisationsbezogene Erfahrung." (WYRWA 1995). BERGER & LUCKMANN (1969) führen aus, dass die Konstruktion von solcher sozialen, psychischen, auch religiösen und ästhetischen Wirklichkeit durch Menschen in sozialen Kontexten, also z.B. in der Familie, der Schule oder/und der Arbeitswelt erfolgt. Das in diesen Situationen ausgebildete Alltagswissen befähigt die Individuen dabei zu routinemäßigem Handeln in Alltagssituationen. Alltagswissen gründet dabei nicht nur in individuellen Erkenntnissen, sondern auch aus kollektiven Erfahrungen, Traditionsbeständen, Mythen und Ideologien, es beinhaltet Konzepte von Raum und Zeit sowie gesellschaftsspezifische und schichtspezifische Verhaltensweisen und Denkstrukturen.

Die subjektiven (Alltags-) Wissenswelten müssen in der Mehrzahl in Bezug auf andere Mitglieder der Gesellschaft konsensfähig und argumentativ stimmig sein (SIEBERT 1999). Dem Solipsismus - durch Konstruktion individueller Wirklichkeiten - entgeht der Mensch also dadurch, dass er mit anderen Menschen kommuniziert und interagiert und damit ständig seine Orientierungssysteme

auf ihre Nützlichkeit hin erprobt (SCHMIDT 1987). Neu geborene Individuen nehmen dabei in der Regel die von der Gesellschaft in einem historischen Entwicklungsprozess konstruierte Wirklichkeit als fraglos gegeben hin. Kurz: Wirklichkeit wird gesellschaftlich in Gedanken und Handlungen konstruiert. Kriterium dieser Konstruktion ist Zweckmäßigkeit - vergleichbar mit Viabilität. Die konstruierten "symbolischen Sinnwelten" haben nach BERGER & LUCKMANN (1969) wegen ihrer Zweckmäßigkeit psychodynamisch und gesellschaftlich stabilisierende und orientierende Funktion: "Die symbolische Sinnwelt bringt Ordnung in die subjektive Einstellung zur persönlichen Erfahrung. Erfahrungen, die verschiedenen Wirklichkeitssphären angehören, werden durch Einbeziehung in ein und dieselbe übergewölbte Sinnwelt integriert."

Der Kommunikationswissenschaftler WATZLAWICK (1995) teilt diese Gedankengänge und sieht Wirklichkeit als das Ergebnis von Kommunikation an. Wirklichkeit ist seiner Ansicht nach nichts Feststehendes, Vorhandenes, Objektives, sondern Wirklichkeit ist sozial, historisch und kulturabhängig. Wirklichkeit ist eine gesellschaftliche Vereinbarung der Mehrheit und der Herrschenden. SCHMIDT stellt in Bezug auf die Aussage "Wirklichkeit sei nichts Feststehendes" ergänzend fest: Diese "Soziale Wirklichkeit" ist strukturell konservativ, denn "Sozial präferiert werden Verhaltensweisen ihrer Mitglieder, die sich in der Vergangenheit als erfolgreich erwiesen haben." (SCHMIDT 1987)¹⁵. GRIGENSOHN-MARCHAND (1994) fasst die Argumentation wie folgt zusammen: "Der Mensch lebt in einer Welt erkennbarer Tatsachen, die als solche aber keine Bedeutung haben. Da der Mensch für sein Überleben eine strukturierte und sinnvolle Sicht der Dinge braucht, konstruiert er sich Bedeutungen, Sinn und konsistente Erklärungen, auch im Bereich der zwischenmenschlichen Beziehungen. Dies geschieht weder rational noch bewußt: einerseits zufällig und andererseits in Abhängigkeit von seiner sozialen Zugehörigkeit. Solche Konstruktionen sind Erfindungen, sie spiegeln keine objektive Realität. Wenn jedoch einmal Sinnzusammenhänge gestiftet sind, die subjektiv als wahr und wirklich gelten, werden diese beibehalten, und die Welt wird mit ihrer Hilfe interpretiert (...)."

Obwohl, wie beschrieben, der menschliche Organismus durch seine spezifische Organisation (Kernaussage 1) und durch seine soziokulturellen Determinanten in seiner Konstruktionsfähigkeit eingeschränkt ist, ist er dennoch prinzipiell dazu fähig, *neue* Eigenwerte in seiner sozialen Umgebung zu konstruieren. Solche Einstellungsmodifikationen werden zwar wie allgemein die persönlichen Annahmen über die Welt auf der Basis der gesellschaftlichen Vorgaben entwickelt, "doch ist sein individueller Spielraum zur Konstruktion ureigenster Wirklichkeiten noch groß genug, um sich von anderen Individuen - trotz immenser Ähnlichkeiten - substantiell zu unterscheiden." (WYRWA 1995).

¹⁵ Aufgrund dieser konservativen Tendenzen werden kulturelle Konstrukte oft auch dann noch beibehalten, wenn ihre Auswirkungen bekannter Weise nicht mehr viabel, sondern kontraproduktiv geworden sind (Beispiel: traditionelle Naturausbeute). Ähnliches gilt auch für individuelle Konstrukte wie Schilervorstellungen.

Kernaussage 4: Sprache stellt Kommunikation her, ist eine Voraussetzung zum Aufbau stabiler Wirklichkeit, übermittelt aber keinen Sinn und keine Bedeutung.

Während Kommunikationsprozessen konstruiert jeder einzelne Teilnehmer eigene Informationen. Sprache überträgt keine fest vorgegebene Bedeutung. Sie ist ein Mittel zur Repräsentation von gemeinsamem Wissen: Sprache repräsentiert das, was Individuen in den verschiedenen Bezugsrahmen der Gesellschaft als viabel erkannt haben (vgl. Abb. 3-10).



Abb. 3-10: Sprache übermittelt keine fest vorgegebene Bedeutung
(Schülerbeitrag, Quelle unbekannt)

Die alltägliche Vorstellung setzt Kommunikation mit dem Austausch bzw. der Übermittlung bedeutungshafter Information gleich (ROTH 1996; WEBER 1996). Die Auffassung, dass wir Verstehen mit Hilfe von Sprache erzeugen, wird jedoch aus konstruktivistischer Sicht nicht getragen. BERGER & LUCKMANN (1969) bezeichnen Sprache zwar als das wichtigste Instrument der Sozialisation, und diese Sozialisation – wie in Kernaussagen 3 hergeleitet – ermöglicht erst die von den Gesellschaftsmitgliedern konstruierte objektive soziale Welt erfolgreich zu internalisieren. Sprache ist jedoch für Konstruktivisten kein geeignetes Mittel, um die Welt zu erkennen, wie sie "wirklich" (unabhängig vom Subjekt) ist. Sprache ist vielmehr in der Regel (wenn nicht mit Sprache, z.B. in Wortspielen, jongliert wird) Interpretation von Wirklichkeiten. Sprache bildet deshalb nicht Wirklichkeit ab und verschafft damit auch keinen ontischen Zugang zu einem subjektunabhängigen Bereich der Erkenntnis. Vielmehr entwickeln die Individuen einer Gesellschaft in der Sprache gemeinsames Wissen, Wissen, das sie mit anderen teilen können, das "konsensuelle Bereiche" (vgl. MATURANA 1992) schafft. In diesen immer vom sozialen Kontext abhängigen Bereichen - v. FOERSTER spricht von "gemeinsamen Vorstellungswelten" (v. FOERSTER 1993), WEBER (1996) bezeichnet sie als "kooperative Interaktionsbereiche", HOOPS (1998) nennt sie intersubjektive Welten von unterschiedlicher Reichweite (Kulturen, Subkulturen, "scientific communities") - können die Individuen miteinander die Erscheinungen der Welt sprachlich bearbeiten und dabei einen Grad von "Übereinstimmung" erreichen, der es ihnen ermöglicht, in Kooperation miteinander zu handeln und sich zu verstehen. Wichtig ist die Formulierung "einen Grad von "Übereinstimmung"", denn jeder Empfänger von (sprachlicher oder ikonischer) Information versteht nur gemäß seiner eigenen Struktur determiniertheit: "Verstehen ist immer eine Sache des Zusammenpassens und nicht des Übereinstimmens (...)." (v. GLASERSFELD 1997). ROTH (1996) formuliert: "Wie groß der konsensuelle Bereich mit dem Menschen, mit dem ich gerade zu tun habe, ist, dies weiß ich allerdings nicht, und deshalb kann Kommunikation in jedem Augenblick scheitern. Kommunikation beruht also auf dem Ausprobieren von Bedeutungszuweisungen.". Welcher Art diese konsensuellen Bereiche sind, welche Konstrukte von Wirklichkeit gelten, ist vom "Aushandeln" eines Konsenses mit anderen abhängig. Der jeweils geltende Konsens muss für die beteiligten Individuen in einem weiten Bereich passen, viabel sein, damit sie ihn anwenden und nicht weiter aushandeln müssen. Ein solcher konsensueller Bereich, eine der verschiedenen (z.B. von sozialen Faktoren abhängigen) Wirklichkeiten eines Individuums, wird gefestigt, wenn in ihm z.B. sprachliches Handeln erfolgreich ist. Wenn "die Modelle, die wir uns von Dingen, Verhältnissen und Vorgängen in der Erlebenswelt aufgebaut haben, sich auch in sprachlichen Interaktionen mit anderen bewähren, dann ist dies eine Steigerung ihrer Viabilität,

ähnlich der Steigerung, die sie durch Wiederholung und Koordination mit unterschiedlichen Sinnesindrücken gewinnen." (v. GLASERSFELD 1997).

Trotz der eigenen Wirklichkeit eines jeden Individuums (Kernaussage 1) sind also die operational geschlossenen Systeme durch die Fähigkeiten des Kommunizierens und Kooperierens untereinander beeinflusst (Kernaussage 3). Sprache ist eine wichtige Säule dieser Beeinflussung (Kernaussage 4). Sie trägt dazu bei, dass für jedes einzelne Individuum eine in Bezug auf die belebte und un belebte Umwelt stabile Wirklichkeit entstehen kann (Kernaussage 2) (EDELSTEIN & HOPPE-GRAFF 1993).

3.1.3 Erwerb und Anwendung von Wissen sowie die Rolle der Vorstellungen bei diesen Prozessen aus konstruktivistischer Sicht

Das sich aktive Anpassen an seine Umgebung, die auf Erfahrung basierende Modifikation von Verhaltensdispositionen, ist für den Menschen eine Voraussetzung zum Überleben. Hierzu muss er

1. aus der Flut an Informationen aus seiner Umgebung selektiv relevant erscheinende Inhalte aufnehmen,
2. die aufgenommenen Informationen verarbeiten und im Gedächtnis so speichern, dass sie
3. schnell und in entsprechenden Situationen angemessen vollständig wieder abrufbar sind, um auf Grundlage des Gelernten mit einer veränderten Verhaltensweise auf die Umwelt reagieren zu können.

Die Aspekte 1. und 2. werden unter dem Begriff Lernen bzw. Wissenskonstruktion¹⁶ und Wissensrepräsentation zusammengefasst. Die Aspekte zwei und drei, das Anwenden des im Gedächtnis repräsentierten Wissens, wird oft als "Denken" bzw. "Problemlösen" gekennzeichnet (ZIMBARDO 1992). Deutlich wird, dass dem Aspekt 2., der Wissensrepräsentation, eine zentrale Rolle zufällt: Das vor Eintritt in einen Lernprozess vorhandene Wissen dient einerseits als Grundlage bei der Informationsaufnahme zum Fokussieren der Sinnesorgane auf bestimmte Ausschnitte der Umgebung und zum Selektieren der Sinnesindrücke und andererseits als Grundlage beim Denken und Problemlösen als Voraussetzung für Verhaltensreaktionen des Menschen. Ein leistungsstarkes Gedächtnis mit den darin abgelegten Wissensinhalten ist deshalb für Lern- und Problemlöseprozesse eine essentielle Grundvoraussetzung.

Die in dieser Arbeit untersuchten "Schülvorstellungen" sind Teile dieser Wissensinhalte. Der bis zu dieser Stelle der Arbeit benutzte Begriff "Schülvorstellung" ist ein in der Naturwissenschaftsdidaktik tradierter Begriff zur Beschreibung derartiger Gedächtnisinhalte. Dennoch ist er unpräzise: Nach heutigem Erkenntnisstand der Kognitionspsychologie dürften die Wissensinhalte nicht als "Schülvorstellungen", sondern müssten korrekter Weise als "Schülvorwissen" bezeichnet werden; Gedankengänge zur Abgrenzung der Begriffe "Vorstellung", "Wissen" und "Vorwissen" sind in Kapitel 3.1.3.1 zusammengestellt. Nachdem anschließend Kapitel 3.1.3.2 zunächst die Bedeutung von Vorstellungen für alltägliches Verhalten in der Lebenswelt skizziert, wird dann in den Kapiteln 3.1.3.3 bis 3.1.3.6 unter Berücksichtigung der konstruktivistischen Kernaussagen ver-

¹⁶ Inzwischen gehört es nach HOOPS (1998) fast zur "professional correctness" von "Wissenskonstruktion" statt von "Lernen" zu sprechen. Der Begriff Wissenserwerb bzw. Wissenskonstruktion betont die konstruktivistische Auffassung vom "Lernen": Zum Erwerben von Wissen muss der Schüler aktiv werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das diesbezügliche "Handeln" im Gehirn bewusst und unbewusst ablaufen kann (vgl. Vorwissen und Konditionierung (Kap. 3.1.3.4) sowie Kritik JUNGS (1997) an der "konstruktivistisch-mechanischen" Sicht zum Lernen).

sucht, die aktuellen wissenschaftlichen Theorien über die Aufnahme, Speicherung und das Wiederabrufen von Wissen und damit auch über das Entstehen und Anwenden von Schüler-"Vorstellungen" darzustellen. Im einzelnen wird die Entwicklung der Lerntheorien vom Behaviorismus zur Kognitionspsychologie erläutert, für die Überlegungen dieser Arbeit der Begriff "Lernen" (Wissenskonstruktion) definiert sowie die Rolle der Vorstellungen bei Informationsverarbeitungsprozessen aus behavioristischer und aus kognitionspsychologischer Sicht, bei letzterem insbesondere auch die Prozesse im und zwischen Langzeit- und Kurzzeitgedächtnis, diskutiert.

Die theoretischen Grundlagen zur Wissenskonstruktion, Wissensrepräsentation und zur Anwendung von Wissen werden intensiv u.a. in den Fachrichtungen Psychologie, Neurobiologie und Pädagogik diskutiert. Dabei ist eine Vielzahl von z.T. sehr unterschiedlichen und z.T. sich in fundamentalen Ansichten widersprechenden Theorien entwickelt worden. In Hinblick auf die Wissenskonstruktion stellt STROHSCHNEIDER (1990) fest: "Die Psychologie hat in den letzten Jahren eine Reihe von Theorien zur Erklärung solcher Wissenserwerbprozesse hervorgebracht. Allerdings unterscheiden sich diese Theorien hinsichtlich der Wissenserwerbprozesse, auf die sie sich beziehen, hinsichtlich der Weite ihres Geltungsanspruches und hinsichtlich der Erklärungsebene, auf der sie sich bewegen. Es muss in theoretischer Konfusion enden, wenn man Erklärungsmodelle miteinander vergleichen will, die sich auf unterschiedliche Formen des Wissenserwerbs beziehen oder auf unterschiedlichen Erklärungsebenen angesiedelt sind."

Ein ähnliches Bild ergibt sich, wenn die Theorien zur Wissensrepräsentation betrachtet werden (Überblick in FORTMÜLLER 1991; STROHSCHNEIDER 1990; EINSIEDLER 1996 und OPWIS & LÜER 1996). FORTMÜLLER (1991) fasst die Diskussion über Repräsentationsformen von Wissen zusammen und unterscheidet dabei sechs Bereiche: "Propositionen und semantische Netze", "Vorstellungsbilder", "Lineare Ordnungen", "Produktionssysteme", "Schemata" sowie "Mentale Modelle". U.a. FORTMÜLLER und SCHNOTZ (1994) machen in Hinblick auf die verschiedenen Repräsentationsformen darauf aufmerksam, dass in manchen dieser Ansätze wie etwa dem Produktionssystemmodell, dem schemenorientierten Ansatz oder dem Ansatz der mentalen Modelle zwar mehrere, in keinem Ansatz der Kognitionspsychologie aber alle der genannten Repräsentationsformen berücksichtigt werden. Insofern können die entwickelten Modelle immer nur einen Teil der beobachtbaren Phänomene zur menschlichen Informationsverarbeitung hinreichend erklären.

Aufgrund der skizzierten Diskussionslage in der Kognitionspsychologie ist für den Rahmen dieser Arbeit eine Auswahl nötig: In Hinblick auf die Untersuchungen zum Energiebegriff und in Hinblick auf die Absicht, durch die vermehrte Berücksichtigung energetischer Aspekte die Effizienz von Biologieunterricht zu steigern, wird "das am häufigsten verwendete Modell" (FORTMÜLLER 1991), die Theorie der kognitiven Schemata, besonders berücksichtigt. Sie, so führt SCHNOTZ (1994) aus, trägt wichtigen Struktur- und Funktionseigenschaften des begrifflichen Vorwissens Rechnung, erklärt die Abhängigkeit des Verstehens von den Vorerfahrungen des Individuums sowie die Kontextabhängigkeit des Verstehens und Erinnerns und stützt damit das durch die vier didaktisch relevanten Kernaussagen zum Konstruktivismus (vgl. Kap. 3.1.2, S. 51) skizzierte Bild der menschlichen Informationsverarbeitung.

Neben der Theorie kognitiver Schemata wird auch die u.a. von GAGE & BERLINER (1996) und ANDERSON (1996) vertretene Ansicht, dass das Wissen eines Menschen als Netzwerk organisiert ist, berücksichtigt (zur didaktischen Relevanz dieser Ansicht zur Wissensrepräsentation vgl. auch HÄUBLER et al. 1998; EINSIEDLER 1996). Die Netzwerkansicht fügt sich insofern in die Schematheorie ein, als sie ebenfalls die Aufmerksamkeit auf die Tatsache richtet, dass im Lernprozess neue Informationen stets mit dem Vorwissen in Verbindung gebracht werden: Zum einen bei der

Wissenskonstruktion (Vorwissen steuert die Aufmerksamkeit) und zum anderen beim Denken und Problemlösen (vgl. MIETZEL 1998).

3.1.3.1 Bedeutungen der Begriffe "Vorstellung", "Vorwissen" und "Wissen"

Im Rahmen dieser Arbeit sind die Begriffe "Wissen" und "Vorstellung" von zentraler Bedeutung, sowohl im wissenschaftlichen Kontext (in fachwissenschaftlichen Aussagen zu kognitiven Leistungen des Menschen in diesem Kapitel) als auch im alltagssprachlichem Kontext (in Formulierungen zu im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Fragebogenuntersuchungen, Interviews und Unterrichtsstunden (z.B. bei Fragen wie: Was weißt du zum Thema ...; welche Vorstellungen hast du bezüglich ...?).

Im alltäglichen Sprachgebrauch unterscheiden wir - wenn auch nicht immer exakt - zwischen Vorstellungen und Wissen: Mit Wissen verbinden wir eher "harte Fakten", Tatsachen, objektive und detaillierte Informationen wie z.B. Messwerte und Formeln, die kontextflexibel anwendbar und nicht durch subjektive Empfindungen beeinflusst sind (Aussagen zu Wissen können z.B. mit Worten wie "ich weiß", "ich bin mir sicher", usw. eingeleitet werden); Vorstellungen dagegen sind eher weniger differenziert, unscharf, situativ bedingt und *subjektiv* eingefärbt (kennzeichnende Worte sind z.B. "ich glaube", "vielleicht ist es", "es könnte", usw.).

Eine dem alltäglichen Sprachgebrauch ähnliche Auffassung vom Begriff "Vorstellung" muss WATSON vertreten haben, als er bei seinen Bemühungen, die Psychologie zu präzisieren, u.a. den seiner Meinung nach "subjektiven Terminus "Vorstellung"" aus dem wissenschaftlichen Vokabular der Psychologie strich (WATSON nach ANDERSON 1996).

Das aufgezeigte Alltagsverständnis von "Wissen" kommt der traditionellen philosophischen Definition nahe, bei der Wissen stets als wahr, als objektiv richtig verstanden wird: Jedes Wissen muss, um Wissen zu sein, irgendwie begründet sein, sonst handelt es sich um eine Vermutung, einen Glauben (vgl. LENZEN 1980), um subjektive Informationen, die nach der obigen Abgrenzung als Vorstellung gekennzeichnet werden müssten.

Die aufgezeigte Unterscheidung zwischen harten und weichen Informationen, zwischen Wissen und Vorstellungen, wird durch Überlegungen des Konstruktivismus aufgehoben. Mit seiner Kernaussage "Wirklichkeit ist ein Konstrukt des Gehirns" (vgl. v.a. Kernaussage 1) bekommen alle uns zugänglichen Informationen aus dem konstruktivistischen Verständnis heraus einen relativen Charakter: Wissen und Vorstellungen sind beides Ergebnisse neuronaler Vorgänge eines jeden einzelnen Individuums. Erst das mit Hilfe von Sprache mögliche Abgleichen der individuellen Vorstellungen von der Welt erzeugt eine zentrale Bezugsgröße, lässt gemeinsame Vorstellungswelten entstehen (Kernaussagen 3 und 4), in denen losgelöst von der objektiven, bewusstseinsunabhängigen, transphänomenalen Realität (vgl. ROTH 1995) wieder unterschieden werden kann zwischen "objektivem Wissen", also Informationen, die viele Menschen eines konsensuellen Bereichs teilen, und "subjektiven Vorstellungen", also Informationen, die ein Mensch besitzt oder wenige Menschen eines konsensuellen Bereichs besitzen. Wie diskussionswürdig die Unterscheidung zwischen "Wissen" und "Vorstellung" ist, lässt sich am Beispiel des naturwissenschaftlichen Wissens zeigen: Naturwissenschaftliches Wissen gilt im alltäglichen Verständnis als "objektives Wissen" und wird als das "wahre" Wissen in der Schule vermittelt. Aus konstruktivistischer Sicht gibt es jedoch nicht *das* naturwissenschaftliche Wissen oder *die* naturwissenschaftliche Sachstruktur. Auch das "objektive Wissen" der Naturwissenschaften spiegelt immer nur den Konsens der betreffenden Wissenschaftler und, wenn es in Form von Büchern vorliegt, immer nur die Rekonstruktion des genannten Konsenses durch die betreffenden Autoren wider.

Zur Unterscheidung von Vor-wissen und Vor-stellung:

In Bezug auf Erwerb und Anwenden von Wissen kommen den *vor* Durchführung der hierbei ablaufenden mentalen Prozesse vorhandenen Informationen, dessen, was DIESTERWEG als "Standpunkt des Schülers" bezeichnet hat, besondere Bedeutungen zu (vgl. Ausführungen in Kap. 3.1.3.4 und 3.1.3.6). Diese bereits vorhandenen Informationen scheinen in den entsprechenden Publikationen der Psychologie und Pädagogik (auch der Linguistik und Neurobiologie) zwar unterschiedlich, aber nicht einheitlich und nicht nach einem erkennbaren System bezeichnet zu werden. Insbesondere die zur Beschreibung der Vorinformationen eingesetzten Wortstämme "Wissen" und "Vorstellung", die nach dem oben erläuterten Alltagsverständnis auf eine unterschiedliche Allgemeingültigkeit der mit ihnen bezeichneten Informationen hindeuten, werden uneinheitlich benutzt.

In der kognitiven Psychologie, jener Wissenschaft, die "das Wesen der menschlichen Intelligenz und des menschlichen Denkens zu verstehen" versucht (ANDERSON 1996), bzw. in der Wissenspsychologie, jenem neuen Teilgebiet der (kognitiven) Psychologie, in welchem theoretische Modelle für die Organisation menschlichen Wissens entwickelt werden (STÄDTLER 1998), scheint der Wortstamm "Vorstellung" hauptsächlich im Zusammenhang von anschaulichen, bildhaften Vorstellungen, sogenannten Vorstellungsbildern, benutzt zu werden (vgl. z.B. ANDERSON 1996; STÄDTLER 1998; STRUBE 1996; WESSELLS 1984; ZIMBARDO 1992). Vorstellungen werden als Teil des menschlichen Wissens, als sogenanntes analoges Wissen verstanden. Die Vorinformationen zur Wissenskonstruktion sind deshalb als Vor-Wissen und nur in speziellen Fällen als Vorstellung gekennzeichnet.

Im Gegensatz dazu findet sich in pädagogischen Arbeiten, vor allem in fachdidaktischen Publikationen, fast ausschließlich der Wortstamm "Vorstellung" oft in den Spezifizierungen "Schüler-Vorstellung", "Alltags-Vorstellung" und "wissenschaftliche Vorstellung" (als Zusammenfassung sei hier auf die Bibliographie von PFUNDT & DUIT (1994, 2000) verwiesen; als aktuelle Arbeiten zu Schülervorstellungen in der Biologie seien genannt: HILGE (1999), GROPEGIEBER¹⁷ (1997); SCHLETTER (1998a)).

In Arbeiten zur pädagogischen Psychologie werden dagegen beide Wortstämme, "Wissen" und "Vorstellung", verwandt. Insbesondere zwischen den Begriffen "Vorwissen" und "Vorstellung" findet dem Anschein nach keine Unterscheidung statt (vgl. GAGE & BERLINER 1996; MAICHLE 1985; MIETZEL 1998). Die Begriffe "Wissen" und "Vorstellung" sowie im folgenden Beispiel von MIETZEL¹⁸ (1998) auch "Erfahrung" und "Verständnis" werden z.T. synonym verwandt: "Man sollte allerdings nicht annehmen, dass einem "falschen" Verständnis stets unnachvollziehbare Vorstellungen zugrundeliegen. Wenn sich bei Kindern die Feststellung, die Erde ist rund, nicht mit ihrem vorliegenden Wissen vereinbaren lässt, konstruieren sie sich vor dem Hintergrund ihrer Erfahrungen ihr eigenständiges Verständnis, (...)". MAICHLE (1986) geht noch weiter und schlägt vor, obwohl die Schema-Theorie im Rahmen der kognitiven Psychologie (vgl. z.B. ANDERSON 1996; WESSELLS 1984) Aussagen zur *Wissensrepräsentation* trifft und deshalb der Begriff der "Vorstellung" nur im Zusammenhang mit bildhaften Vorstellungen benutzt wird, den Vorstellungsbegriff der Fachdidaktik allgemein im Rahmen der Schema-Theorie zu deuten, und führtaus, "Vorstellungen selbst als Schema" zu verstehen (vgl. Taxonomien des Wissens, Textbox S. 74).

¹⁷ GROPEGIEBER (1997) erarbeitet im Kapitel "Vorstellungen zu Vorstellungen" eine ausführliche Übersicht zu Vorstellungen anhand von Aussagen der Unterrichts-Psychologie, der kognitiven Psychologie, der kognitiven Linguistik und konstruktivistischen Naturwissenschaftsdidaktik. Eine explizite Unterscheidung zwischen "Vorstellung" und "Wissen" wird nicht vorgenommen, obwohl die zitierten kognitiven Psychologen bei der Repräsentation von Informationen von Propositionen und Wissensstrukturen, nicht aber von Vorstellungen sprechen.

Gegen die geschilderte synonyme Verwendung der Begriffe "Wissen" und "Vorstellung" in der Pädagogik, Fachdidaktik und pädagogischen Psychologie sprechen die aktuellen Erkenntnisse der Kognitionswissenschaft und Künstlichen Intelligenz zu Theorien der mentalen Wissensrepräsentation. Mit Bezug auf derartige Erkenntnisse kritisiert EINSIEDLER (1996): "Häufig wird hinsichtlich der Wissensdarstellung mit dem herkömmlichen *Anschauungsbegriff* operiert, der sich meist auf Wahrnehmungsprozesse und auf Anschauungen als Ergebnis ("Vorstellung") bezieht. Angesichts einer Vielzahl von Forschungsbefunden zur kognitiven Repräsentation ist dieser Anschauungsbegriff unzulänglich, er vernachlässigt die grundlegenden Prozesse der Verarbeitung von Informationen in Tiefenstrukturen und das Zusammenspiel unterschiedlicher Modalitäten beim Aufbau der Repräsentationen.". SCHNOTZ (1994) wird hinsichtlich der Verwendung des Begriffes "Vorstellung" noch deutlicher: "Mentale Modelle dürfen also nicht einfach mit Vorstellungen gleichgesetzt werden. Vorstellungen sind (...) vielmehr eine spezielle Variante analoger Repräsentationen (...).". In ähnliche Richtung argumentiert SUMFLETH (1991) bei ihrem Vergleich zwischen analoger und propositionaler Repräsentation: "Erwartet er eine propositionale Verarbeitung (...), so sollte er nicht von Vorstellungen, sondern von Wissen sprechen (...)."

Aufgrund der geschilderten uneinheitlich stringenten Verwendung der Begriffe "Vorstellung" und "Wissen" wird unter Abwägung

1. der alltäglichen Bedeutung von "Vorstellung" und "Wissen",
2. der seit über 20 Jahren hinweg in hunderten von Veröffentlichungen tradierten Bezeichnung "Schülervorstellung" in den Fachdidaktiken der Naturwissenschaften¹⁹ und
3. der aktuellen Erkenntnisse der kognitiven Psychologie

folgende Regel für die vorliegende Arbeit bestimmt:

Die Begriffe "Wissen" und "Vorstellung" werden - mit Ausnahme dieses Kapitels, in dem der kognitionswissenschaftlich korrekte übergreifende Ausdruck des Vorwissens benutzt wird - wie bis zu dieser Stelle der Arbeit bereits geschehen, in der oben genannten alltäglichen Bedeutung benutzt. Das heißt:

In Hinblick auf konstruktivistische Gedankengänge und mit den Bedeutungen der Ausdrücke spielend kann man formulieren: Wissen und das zur Konstruktion von Wissen nötige Vor-Wissen ist in Wirklichkeit nur eine Vor-stellung.

Der Begriff "Vorstellung" benennt diejenigen Informationen, die Schüler *vor* unterrichtlichem Wissenserwerb besitzen. Damit soll hervorgehoben werden, dass die uns umgebende Realität mit Hilfe der Vorinformationen eines jeden einzelnen Individuums interpretiert wird und deshalb unser "Vor-Wissen" wie auch unser darauf aufbauend konstruiertes aktuelles Wissen subjektiven Charakter besitzt. Der Begriff "Wissen" wird dagegen in Hinblick auf das (u.a.) in der Schule zu vermittelnde wissenschaftliche, kontextflexible und damit objektive(re) Fach-Wissen benutzt.

3.1.3.2 Die besondere Bedeutung von Vorstellungen in der Lebenswelt

Aussagen wie "Der Mensch ist von Natur aus faul." oder "Man muss nicht alles wissen, man muss nur wissen, wo es geschrieben steht." weisen darauf hin, dass der Vorgang des Lernens, der Wissenskonstruktion, sobald er bewusst wird, mit Mühe verbunden ist und von uns Menschen, wenn

¹⁸ Im weiteren Verlauf des Buches wird jedoch zumeist einheitlich von "Vorwissen" gesprochen.

¹⁹ PFUNDT & DUIT (1994) formulieren in Hinblick auf die Forschung zu vorunterrichtlichen Vorstellungen: "Unter Vorstellungen werden in der hier diskutierten Forschungsrichtung ganz allgemein geistige Entwürfe verstanden (...)."

als Arbeit und nicht als Freude empfunden - wie z.B. von Schülern oft in der Schule -, vermieden wird. Dieser oft, insbesondere auch in der Schule, zu beobachtende Umstand macht deutlich, dass Menschen nicht die Absicht haben - und bei Berücksichtigung der maximalen Leistungsfähigkeit des menschlichen Gehirns nicht die Absicht haben können (ROTH 1995) -, ihre Lebenswelt möglichst umfassend und genau zu erklären.²⁰

Vielfach reicht ein auf Alltagserfahrungen basierendes Vorverständnis, eine "Vorstellung" im Gegensatz zum "Wissen", zum Zurechtfinden in der aktuellen Lebenswelt²¹ aus.

Da die meisten Verhaltensweisen zielorientiert sind (SIEBERT (1996) kennzeichnet Lernen als nie zweckfrei), scheinen Menschen ihre Gedächtnisinhalte daraufhin zu optimieren, dass sie möglichst direkt (einfach, schnell) der Erfüllung des jeweiligen Ziels dienen. Zum aktuellen Handeln verarbeitete Informationen werden situationsbedingt deshalb nicht vollständig mit vergangenen und möglichen zukünftigen Anwendungen abgeglichen. Wegen des zur Entscheidung nur beschränkt erinnerten Vor-Wissens können nicht alle Entscheidungen daraufhin überprüft werden, ob sie der Komplexität der Abläufe in der Umwelt gerecht werden und ob sie bei längerer Wirkdauer der Entscheidung auch in einer anderen als der vom Individuum augenblicklich erlebten Situation/Wirklichkeit Gültigkeit bzw. Sinn haben (vgl. ANDERSONS ACT*-Theorie, Überblick z.B. in FORTMÜLLER 1991). Eine gewisse "Unschärfe" wird (z.T. bewusst) toleriert oder sogar durch den Versuch des Trivialisierens der Situation gefördert, um schwer zu überschauende Vernetzungen zu minimieren (vgl. v. FOERSTER 1993b). Physiologische Ursache für dieses Verhalten ist die Tatsache, dass nur ein eingeschränkter Bereich des Vor-Wissens aus dem Langzeitgedächtnis aktiviert und anschließend im Arbeitsgedächtnis gehalten werden kann (BIRBAUMER & SCHMIDT 1991).

"Menschen scheinen relativ problemlos mit Widersprüchen leben zu können, indem widersprüchliche Wissensinhalte kontextuell isoliert werden und als "etwas ganz anderes" erscheinen." (STÄDTLER 1998). Die lebensweltlichen Vorstellungen sind miteinander verträglich, bilden aber kein geschlossenes, logisch widerspruchsfreies System (GROPENGIEßER 1999)²².

Plakativ zusammengefasst: Das zur Lösung des aktuellen Problems aus dem Gedächtnis aktivierte Teil-Wissen des Menschen soll nicht "die Welt erklären", sondern lediglich die vom Individuum augenblicklich erlebte Situation für das Individuum zufriedenstellend lösen.

Was für die Anwendung von Wissen gilt, ist ähnlich auch beim Aufbau von Wissen zu beobachten: Der Prozess des Wissenserwerbs ist dann - zumindestens vorläufig - abgeschlossen, wenn unsere Erfahrungen und unsere Konzeptionen zueinander passen (DRIVER 1985). Ein Weitersu-

²⁰ Die durch unsere Sinnesorgane aufgenommene Informationsflut wird bis auf die Ebene des Kurzzeitgedächtnisses um ca. den Faktor 10^{10} verringert, um überhaupt eine sinnvolle Verarbeitung der Eindrücke vornehmen zu können (SCHMIDT & THEWS 1990; VESTER 1982).

²¹ Die Lebenswelt, die offensichtliche, augenscheinliche (evidente) Welt, besteht aus den folgenden Teilen des Universums:

1. Der aktuellen, mit den Sinnen erschlossenen Umgebung (Dinge, Beziehungen zwischen Dingen und Phänomenen bzw. nicht direkt Zugänglichem, was erst durch Erfahrbares wahrgenommen wird, wie z.B. Magnetismus),
2. den Erinnerungen an zuvor gemachte ursächlich materielle Erfahrungen (Gegenstände, Kräfte, Abhängigkeiten (Gesetze)) und
3. aus den Erinnerungen an zuvor gemachte ursächlich amaterielle Erfahrungen (z.B. Träume, Einbildung, Emotionen, wie z.B. Ängste).

Die Lebenswelt eines Individuums ist diesem nicht vollends bekannt bzw. nicht jeder Zeit bewusst. Dennoch bestimmen auch unbewusste Teile der Lebenswelt Denken und Handeln des Menschen (vgl. REICH 1998).

²² Innerhalb der didaktischen Forschung ist es nach BAALMANN et al. (1999, vgl. auch Hilge et al. 1998) umstritten, "ob Alltagsvorstellungen theorieähnlich organisiert und daher in sich konsistent und zusammenhängend sind oder ob sie ein Konglomerat aus mehr oder weniger widersprüchlichen Teilen darstellen (vgl. u.a. DISSA, 1988; BROWN, 1995). Untersuchungen in der Kognitionspsychologie stützen die Annahme, nach der vorunterrichtliche Schülervorstellungen als implizite Theorien betrachtet werden können. Implizite Theorien sind in sich logisch konsistent und zusammenhängend. Sie sind jedoch auf bestimmte Wirklichkeitsbereiche beschränkt und stehen damit möglicherweise in einem gewissen Gegensatz zu Vorstellungen, die dieselbe Person zu anderen Bereichen entwickelt (hat)." (vgl. HIRSCHFELD & GELMAN 1994).

chen nach Abschluss eines Wissenserwerbprozesses, ob eventuell noch nicht entdeckte Widersprüche zu anderen Wissensinhalten bestehen, findet nicht statt.

Das Lernverhalten scheint demzufolge - wenn es nicht dem eigenen Spaß dient - durch ökonomische Überlegungen gesteuert: Solange keine Konkurrenzsituation empfunden wird, muss die Denk-aufwand-Nutzen-Relation ausschließlich für das Individuum in einem befriedigendem Verhältnis stehen. Eine subjektive Vorstellung mit ihren möglichen Unzulänglichkeiten in Bezug auf die Erklärungsmächtigkeit in anderen Situationen kann so bei ausreichend empfundenen Nutzen objektivem Wissen, das in der Realität größere Anwendungsgebiete hat, vorgezogen werden.

Zu diesen Überlegungen passt die Beobachtung WONGs (WONG in MIETZEL 1998), dass widersprüchliches Wissen bei Lernenden besonders dann Bestand zu scheinen hat, wenn die Individuen sich nicht herausgefordert sehen, die wahrgenommenen Informationen mit ihrem eigenen Vorwissen zu vergleichen.

3.1.3.3 Grundlegende Erkenntnisse zum Lernen des Menschen: Vom Behaviorismus zum Konstruktivismus

Das Sammeln von Erfahrungen und deren Speicherung im Gedächtnis ermöglicht es, angeborene Verhaltensweisen durch erworbene Verhaltensweisen zu ergänzen, und erlaubt dem Individuum so, flexibel auf Umweltreize zu reagieren. Das dazu notwendige Lernen erfolgt individuell durch Wechselbeziehungen von Umwelt und Erbgut innerhalb einer genetisch determinierten Grenze (EDELMANN 1986).

Die Auffassungen über derartige Lernprozesse haben sich in den letzten Jahrzehnten grundlegend verändert. Die Entwicklung kann wie folgt skizziert werden: Während Behavioristen wie PAWLOW und SKINNER zu Beginn des 20. Jahrhunderts die Auffassung vertraten, dass die inneren Zustände eines Lerners nicht erfassbar und für die Erklärung des Verhaltens unbedeutend seien (Vorgänge zwischen Reiz und Reaktion blieben als "black-box" unberücksichtigt), vollzog sich beginnend mit der Kritik der Gestaltpsychologen ab 1920 eine Wende hin zu einer ganzheitlicheren Betrachtung (vgl. HAUSS 1981; LEFRANCOIS 1986). Alle sichtbaren und unsichtbaren Abläufe im untersuchten Organismus wurden nun in die Forschung einzubeziehen versucht. Dieser Entwicklungstrend von der behavioristischen Sichtweise des Lernens (Lernen als passives Aufnehmen von Wissen) zur kognitiven Sichtweise des Lernens (Lernen als Konstruktion von Wissen) hat mit den Argumenten der Konstruktivisten, gestützt durch neurobiologische Untersuchungen, einen (vorläufigen) Abschluss gefunden. Lernen bedeutet nicht mehr den unverfälschten Transport von Wissen in den Kopf des Schülers (im Sinne des Nürnberger Trichters), sondern dass der Lernende in seinem kognitiven System ein von Instruktionen zwar nicht unabhängiges, aber im Vergleich hierzu dennoch völlig verschiedenes Wissen entstehen lässt (vgl. v. GLASERSFELD 1997; ROTH 1996; ZIMBARDO 1992 und die vier Kernaussagen in Kap. 3.1.2).

Trotz historisch unterschiedlicher Ansätze zum Lernen und der verschiedenen an der Lerndiskussion beteiligten Fachrichtungen (u.a. Psychologie, Pädagogik, Neurophysiologie) werden heute übereinstimmend unter dem Sammelnamen *"Lernen"* diejenigen komplexen, nicht unmittelbar zu beobachtenden Prozesse verstanden, die zu einer erfahrungs- oder übungsbedingten, relativ überdauernden Option einer Verhaltensänderung führen (vgl. z.B. ANDERSON 1996; BRENDENKAMP 1998; DORSCH 1998; EDELMANN 1996; FORTMÜLLER 1991; KRECH & CRUTCHFIELD 1997; SOSSINKA 1988; ROTH et al. 1996; WESSELLS 1984; ZIMBARDO 1992).

Lernen ist dabei ein "nicht unmittelbar zu beobachtender Prozess", da sich der Erfolg des Lernens zu einem vom Lernzeitpunkt unbestimmten Zeitpunkt in beobachtbaren Verhalten zeigen kann,

nicht aber unbedingt zeigen muss. Von "Option einer Verhaltensänderung" spricht man deshalb, weil eine gelernte Verhaltensweise nicht erst gezeigt werden muss, damit man behaupten kann, dass etwas gelernt worden ist. Vielmehr reichen schon Lernprozesse aus, die dem Lernenden eine Möglichkeit bieten, auf gegebene Umweltreize entsprechend zu reagieren. So muss ein Organismus nicht reagieren, wie er es gelernt hat, sondern kann auch eine andere Verhaltensweise zeigen. Diese kann bewusst gewollt sein oder aber durch andere Faktoren, wie z. B. Prüfungsangst, beeinflusst sein. "Relativ überdauernd" bedeutet, dass die durch das Lernen erworbene Verhaltensänderung langfristig ist. So wird man beispielsweise kaum das Schwimmen verlernen, wenn man es einmal gelernt hat. Der Ausdruck "relativ" deutet darauf hin, dass man auch von Lernen spricht, wenn das Gelernte später einmal vergessen oder durch neues Wissen ersetzt wird. Der Aspekt "erfahrungs- oder übungsbedingt" kennzeichnet eine Voraussetzung, damit man einen Prozess als Lernen bezeichnen kann. Lernen darf nur durch Erfahrung oder/und Übung, nicht aber durch den Einfluss anderer Ereignisse oder Prozesse zustande gekommen sein. Obwohl eine exakte Grenzziehung nicht möglich ist, werden vom Lernen solche Verhaltensänderungen abgegrenzt, die durch angeborene Reaktionsmuster, Instinkte, Reifung, Ermüdung, Einfluss von Pharmaka oder Krankheit/Verletzung entstanden sind.

Der biologische Ablauf des Lernens ist dabei nicht von der Umgebung abhängig: Inner- und außerschulisches Lernen laufen deshalb prinzipiell gleich ab (DORSCH 1998)²³.

Trotz vieler Kritiken zu behavioristischen Ansätzen (vgl. FORTMÜLLER 1991; MIETZEL 1998) finden sich auch in aktuellen Lehrbüchern der Psychologie und pädagogischen Psychologie ausführliche Darstellungen zu behavioristischen Lernformen. Grundsätzlich wird auch heute noch unterschieden zwischen assoziativem und kognitivem Lernen²⁴.

Bei *assoziativem Lernen* wird durch eine in der Regel wiederholte enge zeitliche Beziehung bestimmter Eingänge (Reize) und Ausgänge (Verhaltensdispositionen) eine vorher nicht vorhandene Verbindung geknüpft. Unterschieden werden die Lernformen *klassische Konditionierung* (bedingter Reflex) und *operante (instrumentelle) Konditionierung*²⁵ (bedingte Aktion).

Beim *kognitiven Lernen* wird für die Verwirklichung eines Ausgangs neben den angeborenen Informationen und dem aktuellen Eingang auch eine Abbildung des relevanten Teils der Umwelt mitbenutzt, die aufgrund früherer Eingänge im Zentralnervensystem niedergelegt ist. Hierzu gehören besonders *Lernen durch Nachahmung* und *Lernen durch Einsicht*.

²³ Unterschiede bestehen beim schulischen Lernen (dem Kernbereich institutionalisierter Bildung und Erziehung (...) des auf Leistung angelegten Bildungssystems (DORSCH 1998)) infolge (z.T. curricular) vorformulierter Lernziele durch geplante Lenkung der Aktivität des Lernenden mittels Instruktionen, Hilfen und Kontrollen. Bestimmte Inhalte müssen so z.B. wider Willen gelernt werden. Auch die Tatsache, dass schulisches Lernen in der Regel nicht als Einzelunterricht, sondern in Gruppen stattfindet, beeinflusst den schulischen Lernprozess: Das Ziel nämlich, es (fast) allen Schülern zu ermöglichen, zumindest mit Hilfe individualisierter Förder- und Stützmaßnahmen das Unterrichtsziel zu erreichen, bestimmt Lehrereffektivität und Unterrichtsqualität nach dem Grad der Anpassung an die internen Lernvoraussetzungen der einzelnen Schüler. Problematisch sind in diesem Zusammenhang der hohe Lehraufwand, die nicht ausreichend zu leistende Binnendifferenzierung und mögliche unerwünschte Konsequenzen für z.B. besonders befähigte Schüler bzw. Schülergruppen. Die Gefahr besteht hier, das Fordern durch ein vermehrtes Fördern nicht genügend leisten zu können.

²⁴ In der Literatur werden verschiedene Formen des Lernens aufgeführt. Da diese Einteilung eine künstliche Ordnung über eine natürliche Vielfalt ist, wird sie je nach Fachrichtung und beabsichtigter Intention unterschiedlich gehandhabt. Die in der Arbeit gewählte Einteilung erscheint dem Autor zur Zielerfüllung des Kapitels sinnvoll.

²⁵ Operante (instrumentelle) Konditionierung wird auch als "Versuch-Irrtum-Lernen" oder als "Lernen am Erfolg" bzw. "Lernen mit Belohnung" (positive Verstärkung) bzw. "Lernen mit Bestrafung" (negative Verstärkung) bezeichnet.

Lerntheorien haben Einfluss auf die angestrebte Effizienzsteigerung im Biologieunterricht.

"Menschliches Lernen mit Aussicht auf Erfolg zu organisieren, ist das Hauptgeschäft der Pädagogen und der Gegenstand ihres Nachdenkens (...)." (MILLER-KIPP 1995). In Hinblick auf den methodischen Ansatz dieser Arbeit, Unterricht durch vermehrte Berücksichtigung von Schülervorstellungen zu gestalten, liegt die Schlussfolgerung nahe, sich ausschließlich mit den *aktuellen* Erkenntnissen zu kognitivem Lernen und den konstruktivistischen Überlegungen zur Unterrichtsgestaltung auseinanderzusetzen. Mit einem solchen Vorgehen würde man sich, SZADAY, BÜELER & FAVRE (1996) zur Folge einem internationalen Trend im Bildungswesen anschließen, der gekennzeichnet ist durch "eine Abkehr von einem traditionellen, an statisch-mechanischen Systemen orientierten Denken (...). In den Mittelpunkt des Interesses rücken zunehmend Denkmodelle, die sich orientieren am Verhalten und an der Struktur selbstorganisierender, dynamischer Systeme". Eine solche Abkehr von an statisch-mechanischen Systemen orientiertem Denken scheint in Hinblick auf die Organisation von effektivem Schulunterricht nur wenig sinnvoll. Zwar sind die behavioristischen Theorien zum Lernen - wie angedeutet - umstritten und insbesondere die aus den Theorien abgeleiteten Schlussfolgerungen für lernfördernde Unterrichtsgestaltung (z.B. Programmierter Unterricht) werden nach der "kognitiven Wende der Psychologie" häufig kritisiert (vgl. FORTMÜLLER 1991); nicht bestritten scheinen jedoch "behavioristische Effekte" zu sein: Beobachtungen wie "Chemie wird vom neutralen Reiz während der Schullaufbahn zum bedingten Reiz" (Erläuterungen s.u.) gehören nach Ansicht einiger Autoren sowie meiner eigenen Unterrichtserfahrungen zur alltäglichen Praxis des Lehrers (vgl. GAGE & BERLINER 1996, MIETZEL 1998).

Diese "behavioristischen Effekte" machen demzufolge, besonders im Bereich der Emotionen, einen Teil der wichtigen Wirkungen von Schülervorstellungen aus (vgl. DRIVER 1985) und müssen deshalb - ob nun als bloßes Anzeigeelement für nicht erwünschte Lernprozesse oder als ein möglicher Faktor, der Schülerverhalten beeinflusst - vom Lehrer gekannt, erkannt und beim Unterrichten beachtet werden: "Zu kurz kommt derzeit die Diagnose bei den Lernenden, d.h. die Erkundung der Lerndispositionen der Schüler/innen. Lehrer/innen müssen wissen, wo ihre Lernpartner kognitiv, *emotional* und sozial stehen, damit die "Anknüpfungen" stimmen." (MILLER 1998, Hervorhebung durch den Autor). GOLEMAN (1996) unterstützt, indem er betont, dass Emotionen unser alltägliches Handeln, mehr als vielfach vermutet, bestimmen und PINTRICH, MARX & BOYLE (1993) fordern in Hinblick auf vorstellungsbasierten Unterricht, dass affektive Aspekte genauso wie fachliche Aspekte bei der Unterrichtsgestaltung berücksichtigt werden sollten.

3.1.3.4 *Die Rolle des Vorwissens bei der Informationsverarbeitung des Menschen aus behavioristischer Sicht*

Die in diesem Kapitel gegebene Auflistung von "behavioristischen Effekten" soll zur Verdeutlichung dienen, welcher Art Schülervorstellungen sein können, wie sie zum Ausdruck kommen und auf welche möglichen Abläufe in vergangenen und zukünftigen Lernprozessen sie aufmerksam machen können. Über die mentalen Abläufe wird damit *keine* Aussage getroffen. Ob und gegebenenfalls wann sich die gegensätzlichen behavioristischen und kognitiven bzw. konstruktivistischen Sichtweisen zum Lernen in einer Metatheorie zusammen führen lassen, ist nach MIETZEL (1998) im Augenblick nicht zu beantworten und bleibt deshalb auch im folgenden unberücksichtigt.

Durch die Einbeziehung "behavioristischer Effekte" in die breit geführte Schülervorstellungsdiskussion (vgl. DUIT & PFUNDT 1994, 2000) soll im Rahmen dieser Arbeit begründet durch Beobachtungen aus der Schulpraxis der Versuch unternommen werden, Emotionen in kognitionspsy-

chologischen Ansätzen zur Informationsverarbeitung zu berücksichtigen (Zur Kritik mangelnder Berücksichtigung von Emotionen bei kognitiven Prozessen vgl. z.B. DÖRNER 1985; aktuelle Zusammenfassung zu diesem Thema in DÖRNER 1998.).

Habituation und Sensibilisierung

Einen Teil des menschlichen Verhaltensrepertoires kennzeichnen einfache Reiz-Reaktions-Verbindungen (Reflexe). Für das Lernen erfüllt z.B. der Orientierungsreflex²⁶ eine Vorbereitungsfunktion, da er auf plötzliche Veränderungen unserer Umwelt aufmerksam macht. Unter Habituation (Gewöhnung) versteht man allgemein das Nachlassen einer Reaktion (z.B. des Orientierungsreflexes) auf einen gleichbleibenden oder wiederholten Reiz, der keine hohe Verhaltensrelevanz hat (z.B. das immer weniger Beachten von undifferenziert wahrgenommenem Gemurmel von Mitschülern bei einer Stillarbeitsphase). Jede neu auftretende Änderung (z.B. das Aufschnappen seines eigenen Namens) würde jedoch sofort wieder die ursprüngliche Verhaltensweise (hier den Orientierungsreflex) auslösen. Diese Reaktionserhöhung bei Reizwiederholung (Sensitivierung genannt) tritt auf, wenn ein Reiz (Geräuschkulisse in der Klasse), der zuvor nur eine geringe Reaktion hervorrief, nun als wichtig eingestuft wird (mögliches Lästern über die eigene Person) (KRECH & CRUTCHFIELD 1997).

Im Schulunterricht wird häufig durch verschiedene Methoden, die unterschiedliches Vorwissen ansprechen, versucht, die Aufmerksamkeit der Schüler auf den Unterrichtsgegenstand aufrecht zu erhalten. Ein Gewöhnungseffekt und ein damit einhergehender Aufmerksamkeitsverlust soll u.a. durch einen Wechsel von Sozialformen, Unterrichtsmedien usw. bzw. durch das Thematisieren derjenigen Alltagsphänomene, die mit emotionalen Erfahrungen verbunden sind, vermieden werden. Von solchen Alltagsphänomenen verspricht man sich einen hohen, lange andauernden Motivationscharakter. Das Vorwissen der Schüler dient bei nachlassendem Interesse als Anknüpfungspunkt zur weiteren Aufrechterhaltung des unterrichtlichen Spannungsbogens.

Klassisches Konditionieren und Kontiguitätslernen

Lernen durch klassisches Konditionieren²⁷ beruht auf der zeitlichen Paarung eines zuvor neutralen Reizes mit einem unkonditionierten Reiz, der bereits die zu konditionierende (angeborene oder erlernte) Reaktion auslöst. Der Erfolg des Konditionierens ist dabei von der zeitlichen Anordnung des konditionierten und unkonditionierten Reizes abhängig. Liegt der neutrale Reiz im Sekundenbereich vor dem zu konditionierenden Reiz, sind in der Regel die besten Resultate zu erzielen. Je nach genetischer Determination sind verschiedene Reiz-Reaktions-Konditionierungen unterschiedlich leicht zu etablieren (BIRBAUMER & SCHMIDT 1991). In bestimmten Lernsituationen - etwa bei der Paarung von Duft- oder Geschmacksreiz mit Übelkeit - führen auch Intervalle von Stunden noch zu einer erfolgreichen Konditionierung (ROTH 1997). Nach erfolgreicher Konditionierung kann die konditionierte Reaktion auch durch andere, zuvor neutrale Reize ausgelöst werden, wenn diese dem konditionierten Reiz ähneln. Dieses Phänomen der Generalisierung ist in der Regel um so größer, je mehr sich die beiden Reize gleichen. Wird eine Unterscheidung zwischen ähnlichen Reizen gelernt - durch wiederholte Konditionierungsvorgänge - spricht man von Dis-

²⁶ Beschleunigung des Pulsschlags und der Atmung, Erweiterung der Blutgefäße im Kopf, gleichzeitige Verengung der Gefäße in den Extremitäten

²⁷ Die klassische Konditionierung ist durch das Beispiel des PAWLOW'schen Hundes bekannt: Das Tier reagiert auf Fleischduft angeborenermaßen (unbedingt) mit dem Reflex der Speichelabsonderung, auf einen neutralen Reiz (z.B. Licht) reagiert es nicht. Werden Fleischduft und Licht sehr oft gleichzeitig geboten, reagiert das Tier zum Schluss mit Speichelabsonderung auf den Lichtreiz (bedingter Reflex). (BIRBAUMER & SCHMIDT 1991)

krimation. Wird der neutrale Reiz nach erfolgter Konditionierung allein dargeboten, führt das zur Abschwächung (Extinktion) der konditionierten Reaktion (LEFRANCOIS 1986).

Die Stabilität klassischer Konditionierungen hängt u.a. von dem motivationalen Zustand des Lebewesens und den angewandten Verstärkungsplänen ab. Wird nämlich ein Verhalten jedes Mal bei seinem Auftreten verstärkt, so wird zwar rasch gelernt, aber auch wieder schnell verlernt. Bei intermittierender Verstärkung, bei der nicht jede Reaktion verstärkt wird, bleibt das Gelernte länger stabil.

Im Gegensatz zur Klassischen Konditionierung, bei der zwischen konditionierten und unkonditionierten Reizen unterschieden wird, gehen einige Lerntheoretiker davon aus (vgl. Hinweis in BIRBAUMER & SCHMIDT 1991), dass eine bloße kontingente, enge Verknüpfung von Ereignissen gleich welcher Natur einen Lernprozess initiiert: Bei dem Satz "Aus einer Mücke einen ... machen" setzen wir "Elefant" ein, weil Reize (hier die Worte: "Aus einer Mücke einen ... machen") sehr eng aufeinanderfolgen. Manchmal ist bei dieser Lernweise eine Wiederholung des stimulierenden Ereignisses notwendig, aber teilweise stellt sich der Lernerfolg auch bereits beim ersten Versuch ein. In Unterrichtssituationen finden wir diese Lernform beim mechanischen Auswendiglernen, bei dem "automatische" Reaktionen auf einfache Fragen gelernt werden (Welche Farbe haben Chloroplasten?: "Grün."). In manchen Lehrbüchern (vgl. z.B. EDELMANN 1986; ZIMBARDO 1992) wird nicht zwischen Klassischer Konditionierung und Kontiguitätslernen unterschieden, sondern das hier als Kontiguitätslernen bezeichnete Lernen dem Klassischen Konditionieren zugeordnet.

Effekte klassischer Konditionierung (auch respondentes Lernen genannt) sind in der Schule u.a. auf der Ebene der Emotionen zu beobachten. Die diesbezüglich im Schulalltag oft zu beobachtenden Verhaltensänderungen scheinen maßgeblichen Einfluss auf die Lern-Motivation und auf die Bewertung bzw. Haltung gegenüber neuen Informationen bestimmter Bereiche zu haben: "Der "Symbolschock", den viele Schüler erfahren, wenn sie zum ersten Mal mathematischen Symbolen wie α , β oder $r = a^2 + bx + c$ (oder naturwissenschaftlichen Fachbegriffen und z.B. chemischer Formelsprache) begegnen, beruht wahrscheinlich auf einer respondenten Konditionierung von Angstreaktionen auf mathematische (naturwissenschaftliche) Problemstellungen. Der Anblick unbekannter Symbole (oder z.B. das Hören naturwissenschaftlicher Fachbegriffe), die zuvor mit schwierigen Inhalten gekoppelt gewesen waren, rufen negative Gefühle in den Schülern hervor und blockieren dadurch ein wirkungsvolles Lernen." (GAGE & BERLINER 1996). Derartiges klassisches Konditionieren muss den Lernenden nicht bewusst sein. Im Gegenteil. Oftmals geschehen solche Lernvorgänge unbewusst, so dass es für den Betroffenen nur schwer zu verstehen ist, warum er so reagiert und wie es dazu gekommen ist (Schülerzitat: "Da können sie noch so tollen Unterricht machen - wenn ich nur "Chemie" höre, verstehe ich bestimmt nichts mehr. Das war schon immer so."). Die Prinzipien der Extinktion und Diskrimination können nach GAGE & BERLINER von wissenden Lehrern zur Abschwächung der aufgezeigten unerwünschten Lernprozesse eingesetzt werden (vgl. Kap. 5).

Operantes Konditionieren

Beim operanten Konditionieren wird gelernt, zuvor zufällig aufgetretene Reaktionen auszuführen bzw. bleibenzulassen, um das Auftreten eines vom Lernenden gewünschten Zustands (z.B. eine Belohnung) zu erreichen (positive Konditionierung) oder das Auftreten eines unerwünschten Zustandes (Bestrafung) zu vermeiden (negative Konditionierung, Vermeidungslernen) (DORSCH 1998).

Operantes Konditionieren ist ein in der Schule häufig angewandtes Trainingsverfahren, bei dem die Verabreichung von positiven oder negativen Verstärkungen²⁸ oder das Bestrafen von zuvor gezeigtem Verhalten des Lernenden abhängt. Das eigene Leistungsverhalten des Schülers bestimmt also die Konsequenzen - im Gegensatz zum Klassischen Konditionieren, bei dem der unkonditionierte Reiz dem konditionierten folgt, gleichgültig, ob der Lernende die konditionierte Reaktion (Verhaltensänderung) erkennen lässt oder nicht (GAGE & BERLINER 1996). Die Prinzipien der Klassischen Konditionierung (Extinktion, Diskrimination und Generalisation) gelten auch bei der operanten Konditionierung (BIRBAUMER & SCHMIDT 1991).

Das Anwenden von Vorwissen kann durch operantes Konditionieren (z.B. durch zustimmendes oder ablehnendes Kopfbewegen) beeinflusst werden. Am Beispiel der Anwendung des naturwissenschaftlichen Fachausdrucks "Energie" sollen die möglichen Auswirkungen des operanten Konditionierens verdeutlicht werden. Hat z.B. ein Schüler aufgrund kognitiver Lernprozesse verstanden, dass Energie weder erzeugt noch vernichtet werden kann, wendet aber aufgrund von sprachlicher Nachlässigkeit dennoch den Ausdruck "verbrauchen" im Zusammenhang mit Energie an, so kann operantes Konditionieren diese Ungenauigkeit in der naturwissenschaftlichen Ausdrucksweise vermindern: Durch negatives Konditionieren (Bestrafung durch z.B. Stirnrunzeln oder z.B. Unterbrechen der Schülerantwort) kann der Schüler aufgefordert werden, seine Wortwahl angemessener zu wählen.

Hat ein Schüler jedoch die thermodynamischen Zusammenhänge zu Energie nicht verstanden, kann derartiges operantes Konditionieren auch zur Verschleierung nicht stattgefundener kognitiver Lernprozesse führen. Durch dieselbe unterrichtliche Maßnahme kann der Lehrer im Schüler auch folgendes Lernergebnis initiieren:

"Der Ausdruck "Energie" darf im naturwissenschaftlichen Unterricht nicht mit den Worten "verbrauchen" und "herstellen", sondern nur mit dem Wort "umwandeln" verwandt werden". Ein Verstehen der Zusammenhänge findet bei ausschließlich diesem Lernprozess in Hinblick auf die Energiethematik nicht statt: Der Begriff "Energie" wird zu einer Worthölse. Dem Lehrer wird das Aufdecken des Nicht-Verstehens hier durch operantes Konditionieren erschwert.

3.1.3.5 Wissen ist netzwerkartig in Form kognitiver Schemata im Gedächtnis repräsentiert

Bevor die Rolle des Vorwissens auf die Informationsverarbeitung aus kognitionswissenschaftlicher Sicht erläutert wird, stellt dieses Kapitel wichtige Informationen zu Wissenskonstruktion, -repräsentation und -verarbeitung aus Sicht der kognitiven Schema-Theorie zusammen. Berücksichtigt wird dabei die u.a. von ANDERSON (1996), GAGNÉ (1993) und MIETZEL (1998) vertretene Ansicht, dass das (deklarative, vgl. S. Textbox 74) Wissen eines Menschen als Netzwerk verstanden werden kann.

Die Annahme einer solchen netzwerkartigen Repräsentation von Wissen - im Rahmen dieser Arbeit speziell das Wissen zum Energiebegriff - erscheint auch deshalb angemessen, da nach BREDEKAMP & ERDFELDER (1996) die Struktur, die semantischen Beziehungen zwischen ver-

²⁸ Eine positive Verstärkung ist ein Reiz, der, wenn er zu einer Situation hinzukommt, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens dieser Reaktion unter gleichen Umweltbedingungen erhöht. Eine negative Verstärkung ist ein Reiz, der, wenn er aus einer Situation entfernt wird, die Wahrscheinlichkeit des Wiederauftretens dieser Reaktion erhöht. Bei der Bestrafung wird im Gegensatz zur Verstärkung die Wahrscheinlichkeit für das wiederholte Ausführen einer Reaktion verringert (LEFRANCOIS 1986).

schiedenen Begriffen zugrunde liegt, ebenfalls in theoretischen Ansätzen zumeist als Netzwerk beschrieben wird.²⁹

Wie können Vorwissen und Wissen definiert werden?

Wissen wird in der Psychologie als relativ dauerhafter Inhalt des Langzeitgedächtnisses aufgefasst (STÄDTLER 1998; STUBE 1996), der entweder erfahrungsbegründet oder rational, d.h. als Produkt von Denkprozessen ohne Fundament in Sinnesleistungen erzeugt wird (SEEL 1991). Aus konstruktivistischer Sicht werden diejenigen überdauernden Strukturen des kognitiven Systems als Wissen bezeichnet, die sich subjektiv bewährt haben und deshalb als *viabel* gelten. Wissen, das nicht erfolgreich angewandt werden kann, fällt bei der Ontogenese des kognitiven Systems heraus, wird vergessen (v. GLASERSFELD 1997, vgl. Kernaussage 2, S. 57).

Das Wissen des Langzeitgedächtnisses dient der Informationsverarbeitung und damit der Konstruktion aktuellen Wissens im Arbeitsgedächtnis bzw. Kurzzeitgedächtnis (GOLDMAN-RAKIC 1992). Dieses aktuelle Wissen ist z.T. bewusst (z.B. die Erfahrung, dass kochendes Wasser Schmerzen verursachen kann) und z.T. unbewusst (z.B. bei Bewegungsabläufen wie etwa dem Radfahren). Weil das Wissen des Langzeitgedächtnisses zeitlich betrachtet jedoch stets vor dem aktuell neu konstruierten Wissen im Individuum abgespeichert ist, kann es als Vor-Wissen bezeichnet werden. Dieses Vorwissen entspricht dem, was in dieser Arbeit außerhalb des Kapitels 3 als Schülervorstellung bezeichnet wird (vgl. ANDERSON 1996; ENGELKAMP 1990).

Welche Arten von (Vor-) Wissen werden unterschieden?

Vorwissen und Wissen (in diesem Abschnitt zusammenfassend als Wissen bezeichnet) kann unterschieden werden nach Dimensionen der Allgemeinheit, nach seiner Herkunft, nach seiner Funktion und Präzision sowie nach der Art und Weise, wie es im menschlichen Gedächtnis repräsentiert ist. Nachfolgend ist der Versuch unternommen worden, verschiedene Wissensbereiche systematisch zu ordnen und so gewissermaßen Taxonomien des Wissens zu erstellen (vgl. Textbox S. 74). Diese Taxonomien sind in Hinblick auf das Charakterisieren von Schülervorwissen bzw. "Schülervorstellungen" (Wissen verschiedener Aussagekraft und verschiedener Entstehungs- und Anwendungsbereiche) sowie auf das verschiedenartige Speichern der Information im menschlichen Gedächtnis zusammengestellt (Wissen verschiedener Repräsentationsform). Die Auflistung hat weder den Anspruch auf Vollständigkeit, noch ist sie überschneidungsfrei (vgl. entsprechende Übersichten in OPWIS & LÜER 1996; STÄDTLER 1998). Andere Gliederungen sind möglich.

²⁹ Deutlich hervorgehoben sei jedoch an dieser Stelle, dass die dargestellten Abläufe zur Informationsverarbeitung als *ein* Modell zu verstehen sind: Die vorgestellten Erklärungsansätze unter Annahme einer netzwerkartigen Wissensrepräsentation ermöglichen, viele der in schulischen Lehr-Lernprozessen zu beobachtenden Aspekte im Zusammenhang zu deuten. Insbesondere viele Beobachtungen des Schülervorwissens im Schulalltag können mit Hilfe des Modells befriedigend erklärt werden. Die netzwerkartige Wissensrepräsentation erscheint deshalb als ein kleiner gemeinsamer Nenner für viele Theorien bzw. Theorieansätze zur menschlichen Informationsverarbeitung. So gehen auch HÄUBLER et al. (1998) bei ihrer Zusammenfassung der aktuellen Strömungen in der Didaktik der Naturwissenschaften von der netzwerkartigen Wissensrepräsentation als Grundlage für die didaktischen Überlegungen in Hinblick auf "Schülervorstellungen" aus. Dennoch existieren andere Modellvorstellungen, auf die hier nicht weiter eingegangen wird (vgl. z.B. FORTMÜLLER 1991).

Wissen verschiedener Aussagekraft

- **Gesichertes Wissen:** Wissen, das hohe Erklärungsmächtigkeit besitzt.
Beispiel: Fach- oder Expertenwissen; Wissen, dessen Menge abgegrenzt werden kann und das (Fach-) Begriffe, Relationen sowie typische Problemlösemethoden umfasst.
versus
- **Fehlerhaftes Wissen:** Wissen, das eine falsche Auffassung vom Lernenden im aktuellen Lernkontext widerspiegelt.
versus
- **Unsicheres Wissen:** Wissen, das mit einer Zuversichtlichkeitsbewertung versehen ist (Hoffnung).
Varianten:
Heuristisches Wissen: Wissen, das den Charakter einer nicht immer zutreffenden "Faustregel" hat; Wissen, das bei einem Problem geeignet ist, Anhaltspunkte zur günstigen Auswahl von Alternativen zu liefern.
Standardwissen: Wissen, zu dem Ausnahmen existieren.
versus
- **Unvollständiges Wissen:** Wissen, das zum Lösen des betrachteten Problems bekanntermaßen nicht ausreicht.
- **Qualitatives Wissen:** Wissen, das in den Naturwissenschaften benutzt wird, um Messwerte in Beziehung zu setzen
Beispiel: Formeln der Thermodynamik
versus
- **Quantitatives Wissen:** Wissen, das lediglich die Richtung/Stärke des Zusammenhangs angibt.
Beispiel: Energie kann nicht erzeugt oder vernichtet werden; Energiemenge A bleibt konstant.

Wissen verschiedener Entstehungs- und Anwendungsbereiche

- **Alltags-Wissen:** Wissen, das zum Teil kulturspezifisch ist, das jeder Mensch im Rahmen seiner Sozialisation korrespondierend zur kognitiven Entwicklung entsprechend erwirbt.
versus (trotz schwerer Abgrenzbarkeit)
- **Wissenschaftliches-, Experten-, Fach-Wissen:** vgl. gesichertes Wissen (s.o.)
- **Wissen aus externen Quellen:** Wissen, das aus der Umgebung stammt (Gespräche, Bücher, Unterricht, ...).
versus
- **Wissen aus internen Quellen:** Wissen, das aus der Reflexion individueller Erfahrungen entsteht (Erfahrungen beim Umgang mit dem eigenen Körper, beim Umgang mit Dingen)³⁰.

Wissen verschiedener Repräsentationsform

- **Analoges Wissen:** Wissen, das in Form von bildhaften Vorstellungen³¹ dargestellt wird.
versus
- **Propositionales Wissen:** Wissen, das durch Schemata wie Propositionen oder Scripts repräsentiert werden kann.
- **Prozedurales Wissen:** Wissen über das "wie"; Wissen, das unmittelbar in Handlungen umgesetzt werden kann und über das in der Regel keine Auskunft gegeben werden kann (motorische Skills (Bewegungsabläufe) und mentale Operationen (Problemlösestrategien)).
Beispiel: Wissen, wie man Fahrrad fährt (z.B. die dabei ablaufenden neuronalen Vorgänge im Körper)
versus
- **Deklaratives Wissen:** Wissen über das "was"; Wissen, das in Form von Propositionen, Vorstellungsbildern oder typischen Ereignisabläufen vorliegt und über das Auskunft gegeben werden kann.
Beispiel: Wissen, dass das Fahrrad Räder besitzt.

(Erläuterungen zur Textbox auf S. 73.)

³⁰ Eine derartige Trennung zwischen extern und intern basierten Schilervorstellungen wird von SCHLETTER & BAYRHUBER (1998) vorgenommen. Diese Differenzierung weist eine Nähe zu der Unterscheidung von VOSNIADOU (1992) auf, die zwischen "Faktenwissen" und "tief verwurzelten Überzeugungen" unterscheidet.

³¹ Nach DORSCH (1998) sind derartige Vorstellungen alle diejenigen anschaulichen seelischen Inhalte, die Erinnerungsbilder von Wahrnehmungen sind. Gemeinsam mit Wahrnehmungen, von denen sie herrühren, haben die Vorstellungen den konkreten, anschaulichen, gegenständlichen Charakter. Im Vergleich zu Wahrnehmungen erscheinen Vorstellungen jedoch undeutlicher und weniger detailliert (WESSELLS 1984).

Die folgende Abbildung 3-11 verdeutlicht die Zusammenhänge der ausführlichen Wissenstaxonomie von Seite 74.

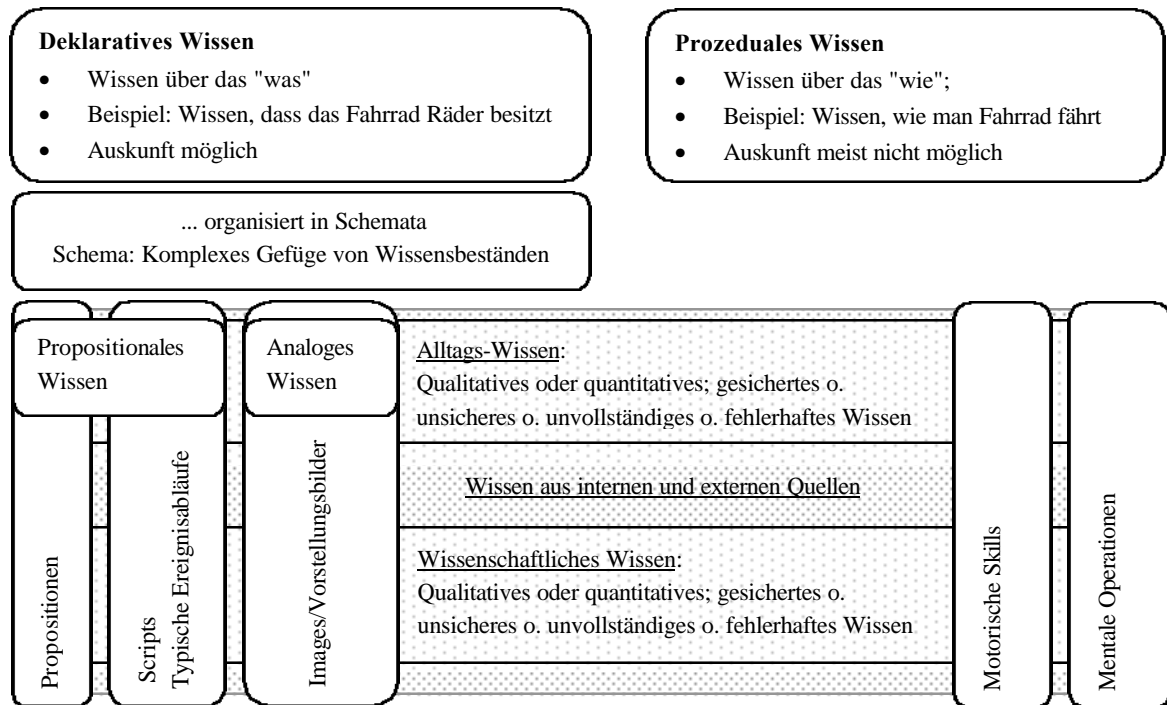


Abb. 3-11: Wissenstaxonomie, Versuch einer graphischen Darstellung verschiedener Wissensarten (Erläuterungen zu den verschiedenen Bereichen des Wissens vgl. Textbox S. 74)

Wie ist Vorwissen und Wissen im Gedächtnis gespeichert und organisiert?

Die folgenden Erläuterungen gehen von der Annahme aus, dass Wissen in einer netzwerkartigen Struktur in Schemata organisiert gespeichert ist (vgl. S. 72).

Während mit Hilfe von Propositionen kleinere Wissenseinheiten erfasst werden können, erweisen sie sich für das Verständnis größerer Informationsmengen als wenig geeignet: "Für die bei komplexen Eindrücken notwendigen Erkenntnisleistungen hat sich das Schema-Konzept als angemessen herausgestellt" (SCHERMER 1999).

Der von BARTLETT Anfang dieses Jahrhunderts eingeführte Schemabegriff ist jedoch aufgrund unterschiedlicher historischer Entwicklungslinien in der kognitionswissenschaftlichen Literatur nicht einheitlich definiert. Gemeinsam ist allen Auffassungen, dass Schemata zum einen als interne Strukturen charakterisiert werden, die aus konkreten Erfahrungen erworben bzw., wenn bereits vorhanden, modifiziert oder differenziert werden und zum anderen in neuen Situationen Anwendung finden (STRUBE 1996). Kognitive Schemata beinhalten dabei Datenstrukturen, die Erfahrungen in allgemeiner Form beinhalten, sie fassen bedeutsame Merkmale von Reizgegebenheiten in abstrakter Form zusammen - z.B. von Gegenständen, Tätigkeiten, sozialen Ereignissen bis hin zu abstrakten Prinzipien (MIETZEL 1998). Netzwerktheoretiker wie GAGNÉ (1993) sprechen zusätzlich von "elaborative proposition" und weisen damit auf das Entstehen von Schemata (hier Propositionen) durch schlussfolgerndes Denken hin - also auf das Zustandekommen von Schemata auch *ohne* vorherige direkte Erfahrung. Damit kognitive Schemata flexibel auch in nur ähnlichen Situationen anwendbar sind, besitzen sie allgemein "Leerstellen", die entweder mit hypothetischen Daten aufgrund bisheriger Erfahrungen oder mit empirischen Daten entsprechend der aktuellen Sinneswahrnehmung aufgefüllt werden (SCHNOTZ 1994; WEINERT & WALDMANN 1988).

Da Schemata notwendige Verständnishintergründe zur Informationsverarbeitung liefern und sie dabei neben gesichertem Wissen auch unsicheres, falsches oder unzureichendes Wissen repräsentieren können, verursacht das Zurückgreifen auf im aktuellen Kontext "unpassende" Schemata bzw. das versuchte Auffüllen der Leerstellen mit nicht zum Schema passenden Daten Missverständnisse (vgl. Abb. 3-14, S. 80).

Schemata werden kontextabhängig gebildet. Einzelne Schemata können dabei zu übergeordneten Schemata zugeordnet werden: So könnte z.B. zwischen Alltags- und Schul-Schemata oder auf den naturwissenschaftlichen Unterricht bezogen z.B. zwischen Biologie- und Physikschemata unterschieden werden (vgl. MIETZEL 1998; SCHNOTZ 1994). Solche Schemata, die übergeordneten, bestimmten Entstehungs- und bevorzugten Anwendungskontexten zugeordnet werden können, zeigen Parallelen zum Begriff der "konsensuellen Bereiche" aus der Konstruktivismusdebatte (vgl. Kernaussage 4, S. 60).

In Hinblick auf schulisches Lernen sind zwei Effekte wichtig: Zum einen gestattet es das Anwenden von Schemata Schülern, Erwartungen zu formulieren und damit Ereignisse vorherzusagen. Zum anderen können in der aktuellen Situation unpassende aktive Schemata zu unerwünschten Verhaltensweisen im Schulunterricht (Lernschwierigkeiten) führen (Ausführliche Erläuterungen in Kap. 3.1.3.6).

Allgemein gestatten Schemata die Einordnung wahrgenommener Reizgegebenheiten. Dabei können sie

1. Zusammenhänge in Form von Propositionen darstellen,
2. bildhafte Vorstellungen repräsentieren und
3. typische Ereignisabläufe (Scripts) beinhalten.

Zu 1: Propositionen

Nach der Auffassung ANDERSONS (1996) sind die Inhalte des Gedächtnisses in Form von Propositionen gespeichert, die ihrerseits netzartig miteinander in Verbindung stehen. Unter dem Begriff "Proposition" versteht SCHUNK (1991) eine kleinste Bedeutung, Sinn oder Eigenschaft zuweisende Informationseinheit, die ein Urteil darüber zulässt, ob eine Aussage richtig oder falsch ist. Propositionen sind keine Sätze oder Wortfolgen, sondern werden als abstrakte Wissensseinheiten bezeichnet: "Energie" ist demnach nicht eine Proposition, sondern ein Wort. Die dem Wort "Energie" zugefügte Aussage "Energie ist amateriell" lässt eine Proposition entstehen. Derartige Propositionen bilden sich während des Lernens im Gedächtnis zwischen den aus vorangegangenen Lernerfahrungen repräsentierten Begriffen und semantischen Verbindungen aus. Die Beziehungen zwischen Worten werden auch als Assoziationen bezeichnet. EDELMANN (1986) führt aus: "(...) ganze Wissensgebiete (können) im Gedächtnis in Form von *Assoziationskomplexen* gespeichert sein."

Zu 2: Bildhafte Vorstellungen

In der Kognitionspsychologie wird diskutiert, ob im Langzeitgedächtnis bildhafte Vorstellungen einer Fotografie ähnlich oder durch propositionale Wissensrepräsentation gespeichert werden. Da diese Diskussion im Rahmen dieser Arbeit nicht von Bedeutung ist, wird an dieser Stelle nur auf eine aktuelle Zusammenfassung zu diesem Thema verwiesen (vgl. SACHS-HOMBACH 1995).

Zu 3: Typische Ereignisabläufe (Scripts)

Ereignis-Schemata (auch Scripts) bezeichnen das Wissen über Abläufe (MANDL 1988). Diese Gedächtnisinhalte, die Ereignisabläufe von Lebewesen (z.B. der Restaurantbesuch eines Menschen) und Dingen (z.B. das Hüpfen eines Balls auf hartem Boden) beinhalten, haben eine serielle und hierarchische Struktur: Auf der seriellen Struktur repräsentieren sie typische Abfolgen von Ereignissen (z.B. erst das Essen bestellen, dann kann gegessen werden), hierarchisch lassen sich Scripts in Szenen untergliedern (z.B. die Szene "Bestellen von Essen") (STÄDTLER 1998).

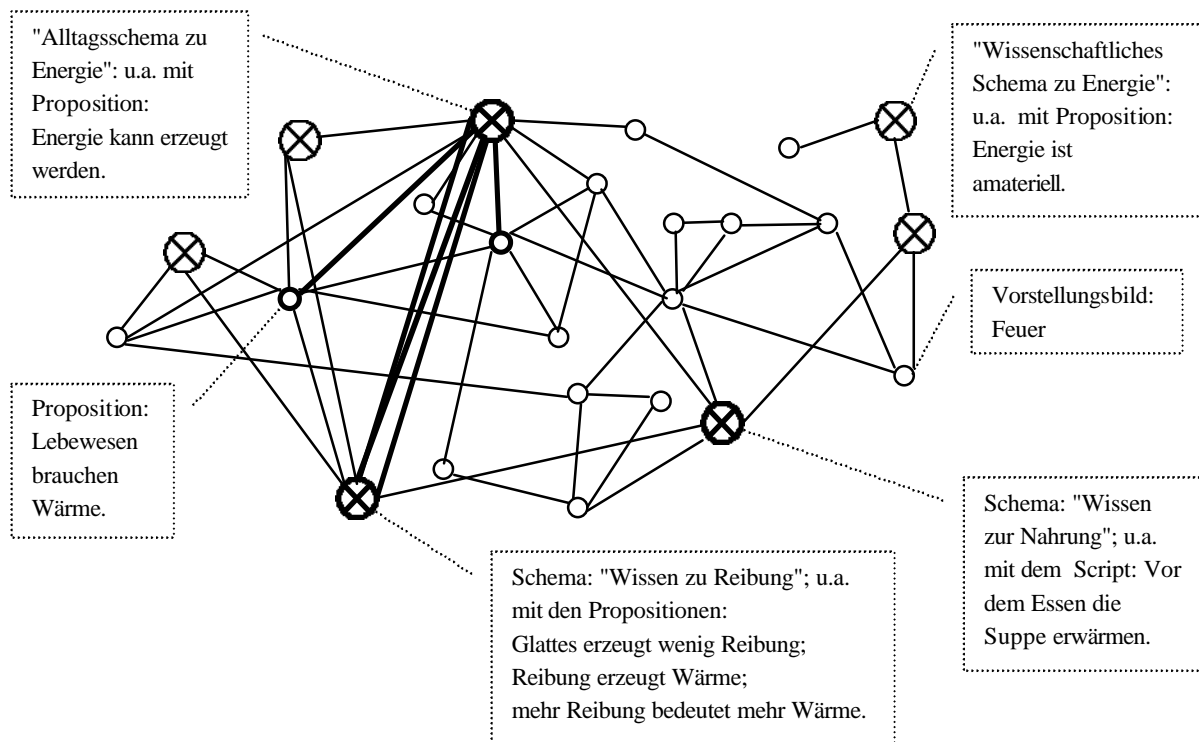
Wie sind einzelne Wissensinhalte im Gedächtnis verbunden?

GAGNÉ (1993) geht in Anlehnung an ANDERSON (1996) davon aus, dass Wissensseinheiten (Propositionen, bildhafte Vorstellungen, typische Ereignisabläufe) einzeln oder zu größeren Wissensseinheiten netzartig verbunden sind. (Ein Überblick über ältere Arbeiten zu schematheoretischen Ansätzen findet sich bei MAICHLE (1986)). Die zu ein und demselben Wirklichkeitsbereich vorhandenen Wissensseinheiten einer Person müssen dabei inhaltlich für Außenstehende nicht zueinander passen. Je nach Kontext können von Individuen mehrere verschiedene, z.T. auch gegensätzliche bzw. sich widersprechende Wissensinhalte geäußert werden (vgl. GROPPENGIEßER 1999, Fußnote 22, S. 66).

Die Verbindungen zwischen diesen Gedächtnisinhalten, die sogenannten Gedächtnisspuren, sind dabei - je nach Intensität ihrer Nutzung und damit je nach Anzahl bzw. Stärke ihrer Verbindungen - unterschiedlich deutlich (SCHRAMEIER 1990). Die Stärke solcher assoziativen Verbindungen bestimmt die Wahrscheinlichkeit (Schwelle), mit der bestimmte Wissensinhalte erinnert und aktiviert werden können: Wenn eine Information zu einem Schema passt, so werden die assoziativ damit zusammenhängenden Wissensseinheiten aktiviert (vgl. BIRBAUMER & SCHMIDT 1991). Sie treten für die *augenblicklichen* Gedankengänge des Individuums in den Vordergrund, werden zu Wissensseinheiten quasi erster Ordnung. Wissensinhalte, die mit vielen anderen bzw. stark mit einzelnen Wissensinhalten verbunden sind, haben für das Individuum eine größere Bedeutung. Wissen, das durch viele Verknüpfungen repräsentiert ist, kann dabei von Lernenden schneller erinnert werden, es dürfte deshalb in verschiedenen Erfahrungsbereichen häufiger angewandt werden, häufiger zu Schemata erster Ordnung werden (MIETZEL 1998; SCHRAMEIER 1990; VESTER 1979, 1982)³². Die Abbildung 3-12 versucht eine graphische Darstellung der geschilderten Zusammenhänge. Sie zeigt in einer *einfachen Modellvorstellung* einen kleinen Ausschnitt des hypothetischen Wissens einer Person zum Themenkomplex Energie: Die einzelnen Kreise stellen dabei einzelne Wissensseinheiten oder Subschemata, die Kreise mit Kreuz stellen übergeordnete Schemata dar. Die Linien zwischen den Kreisen stehen für assoziative Verknüpfungen. Die geclusterte Darstellung von Wissensseinheiten, Subschemata und deren Verknüpfungen zu einem übergeordneten Schema dient der grafischen Vereinfachung. Ein Hinweis zur tatsächlichen Struktur des Wissensnetzes ist damit *nicht beabsichtigt*. Zwischen den verschiedenen Wissensseinheiten und Schemata bestehen verschieden viele und verschieden intensive assoziative Verknüpfungen. So ist in der Abbildung das "Alltagsschema zu Energie" mit Schemata bzw. Wissensseinheiten anderer Wirklichkeitsbereiche entweder nicht (z.B. Wissenschaftliches Schema zu Energie), wenig (z.B. Schema "Wissen zur Nahrung") oder stark verknüpft (z.B. Schema "Wissen zur Reibung").

³² REIMANN (1997) stellt in Zusammenhang mit dem Aspekt "Analogien im Lehr- Lernprozess" die "Vertrautheit mit Vorwissen" als wesentlichen Faktor zum Anwenden dieser Wissensseinheiten heraus.

Die Intensität der Verknüpfungen ist durch die unterschiedliche Dicke der Verbindungslinien zwischen den Wissenseinheiten verdeutlicht.



Legende:

- Einfacher Kreis: Wissenseinheit (Proposition, Vorstellungsbild, typische Ereignisabläufe)
- Kreis mit Kreuz: aus Wissenseinheiten bestehendes Schema
- Verbindung zwischen Kreisen: Assoziative Verbindung - Gedächtnisspur
- Dünnes Element: durch wenige bzw. wenig intensive Erfahrungen mit anderen Elementen des Netzes verbunden → geringe Nutzung, wenig ausgeprägte Gedächtnisspur
- Dickes Element: durch viele bzw. intensive Erfahrungen mit anderen Elementen des Netzes verbunden → häufige Nutzung, stark ausgeprägte Gedächtnisspur

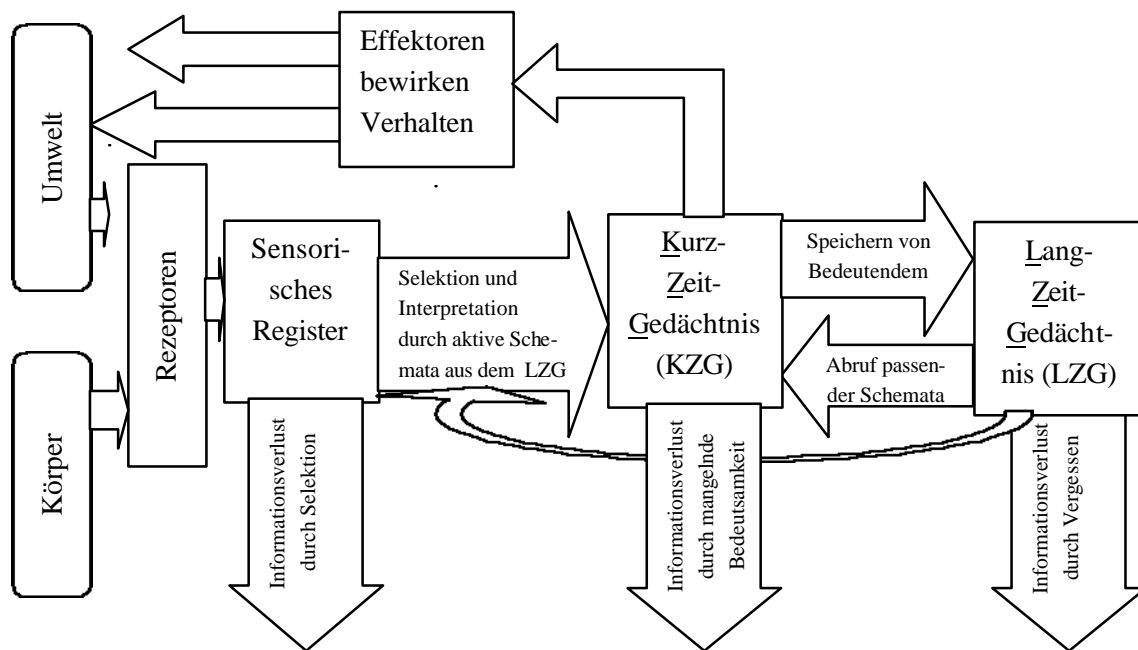
Abb. 3-12: Teile der netzwerkartigen Repräsentation von Wissen über Energie

In Bezug auf die Erhebung von Schülervorwissen zum Themenbereich Energie ist hervorzuheben: Der Energiebegriff wird in verschiedenen Kontexten eingesetzt (GAYFORD 1986b; zur Vielseitigkeit der Verwendung des Energiebegriffs vgl. Kap. 2.1.1, S. 10), demzufolge dürfte er in verschiedenen Schemata (aus den Bereichen Alltag und Wissenschaft) mit unterschiedlichen Wissenseinheiten der jeweiligen Kontexte verknüpft sein. Das Wort Energie hat dabei unterschiedliche Bedeutungen. Eine derartige Verknüpfung des Energiebegriffs mit verschiedenen Schemata einhergehend mit deutlich unterschiedlichen Begriffsbedeutungen lässt vermehrte Missverständnisse, Fehlinterpretationen und in Folge dessen Fehlerklärungen vermuten³³.

³³ Das Kinderspiel "Teekesselchen-Raten" nutzt das Vorhandensein gleicher Worte (Wort als Bezeichnung für einen Begriff) in unterschiedlichen Schemata aus. Durch das Beschreiben von inhaltlichen Verknüpfungen zu anderen Wissensinhalten der betrachteten Schemata sollen die verschiedenen Bedeutungen (Begriffe) ein und desselben Wortes erraten werden. (Beispiel: Das Wort "Birne" ist in einem Schema "Nahrung" ein Obst und im Schema "Abends nach Hause kommen und Licht anmachen" ein Leuchtkörper; das Wort "Energie" ist im Schema "Schwimmen" eine Bezeichnung für Ausdauer und im Schema "Physikunterricht" eine Rechengröße.)

3.1.3.6 Die Rolle des Vorwissens bei der Informationsverarbeitung des Menschen aus aktueller kognitionspsychologischer Sicht

Das nachfolgende Flussdiagramm (Abb. 3-13) verdeutlicht unter Berücksichtigung konstruktivistischen Gedankenguts wichtige kognitive Prozesse der Informationsverarbeitung (vgl. ANDERSON 1996, ENGELKAMP 1990, MIETZEL 1998, ZIMBARDO 1992). Es ist als eine Modellvorstellung zu verstehen und spiegelt nicht die tatsächlichen Strukturen des Gehirns wider³⁴. Die grafische Darstellung versucht, die Annahmen zur Schematheorie mit den theoretischen Aussagen zu Mehrspeichermodellen des Gedächtnisses (KRECH & CRUTCHFIELD 1997) zu verbinden.



Legende: Informationsflüsse sind durch Pfeile dargestellt. Rechtecke stellen Teile des Nervensystems dar. Informationsquellen sind durch abgerundete Rechtecke symbolisiert.

Abb. 3-13: Modell zur menschlichen Informationsverarbeitung (Erläuterungen s.u.)

Erläuterungen zur Abbildung 3-13:

Rezeptoren wandeln adäquate Reize aus der Außenwelt oder dem Körper des Individuums in Nervenimpulse um und geben sie an das Sensorische Register. Individuen haben dabei durch ihre Sinnesrezeptoren keinen direkten Zugang zur ontischen Welt. Deshalb befindet sich in der Abbildung die Lücke zwischen Umwelt und Rezeptor (vgl. hierzu Kernaussage 1, S. 54). Im sensorischen Register sind die Sinneseindrücke für kurze Zeit (im Sekundenbereich) - daher auch oft die Bezeichnung Ultrakurzzeitgedächtnis (BREDENKAMP 1998) - existent und ermöglichen so ein Kontinuum an Wahrnehmung weiter (BIRBAUMER & SCHMIDT 1991; SCHMIDT & THEWS 1990). Durch den Filter "Aufmerksamkeit" wird ein Großteil der Informationen ausselektiert. Ins Kurzzeitgedächtnis (KZG, auch Arbeitsgedächtnis genannt) aufgenommen werden nur diejenigen "Interpretationen von Informationen", denen durch Vergleich mit Informationen aus dem Langzeitgedächtnis (LZG) Bedeutung zugeschrieben werden kann (ANDERSON 1996). Nur die "Interpreta-

³⁴ Modifizierte und komplexere Modellvorstellungen zum menschlichen Informationsspeicher und -verarbeitungssystem werden z.B. in BREDENKAMP (1998) diskutiert.

tionen von Informationen" können gespeichert werden, weil aufgrund des Vorwissens und der aktuellen allgemeinen Bedingungen des Individuums (Einstellungen, Erwartungen, physiologische Bedingungen (vgl. Abb. 1-4, S. 4) die im Sensorischen Register vorhandenen Reizgegebenheiten gedeutet werden. Hierbei bestimmten u.a. Viabilitätsbedingungen die Interpretation (vgl. Kernaussage 2 und 4, S. 57 und S. 60).

Das aufgrund der kognitiven Abläufe ausgelöste Verhalten des Individuums wirkt auf die Umwelt entweder direkt, z.B. beim Ausüben mechanischer Tätigkeiten (Händeschütteln), oder perturbierend, z.B. beim verbalen Kommunizieren mit Mitmenschen (Hallo-Sagen). Wegen dieser verschiedenen Wirkungen sind in der Abbildung sowohl eine unterbrochene als auch eine durchgehende Verbindung zwischen Individuum und Umwelt eingezeichnet. Speziell perturbierende Prozesse zwischen Menschen können dem Aushandeln von Bedeutungen und damit zum Aufbau konsensueller Bereiche dienen (vgl. Kernaussage 3 und 4, S. 58 und S. 60).

Die für die Informationsverarbeitungsprozesse wichtigen Wechselwirkungen zwischen dem Vorwissen (im LZG gespeichert) und den aktuellen Wahrnehmungen und Denk- und Problemlöseprozessen im KZG werden im folgenden Flussdiagramm (Abb. 3-14) verdeutlicht.

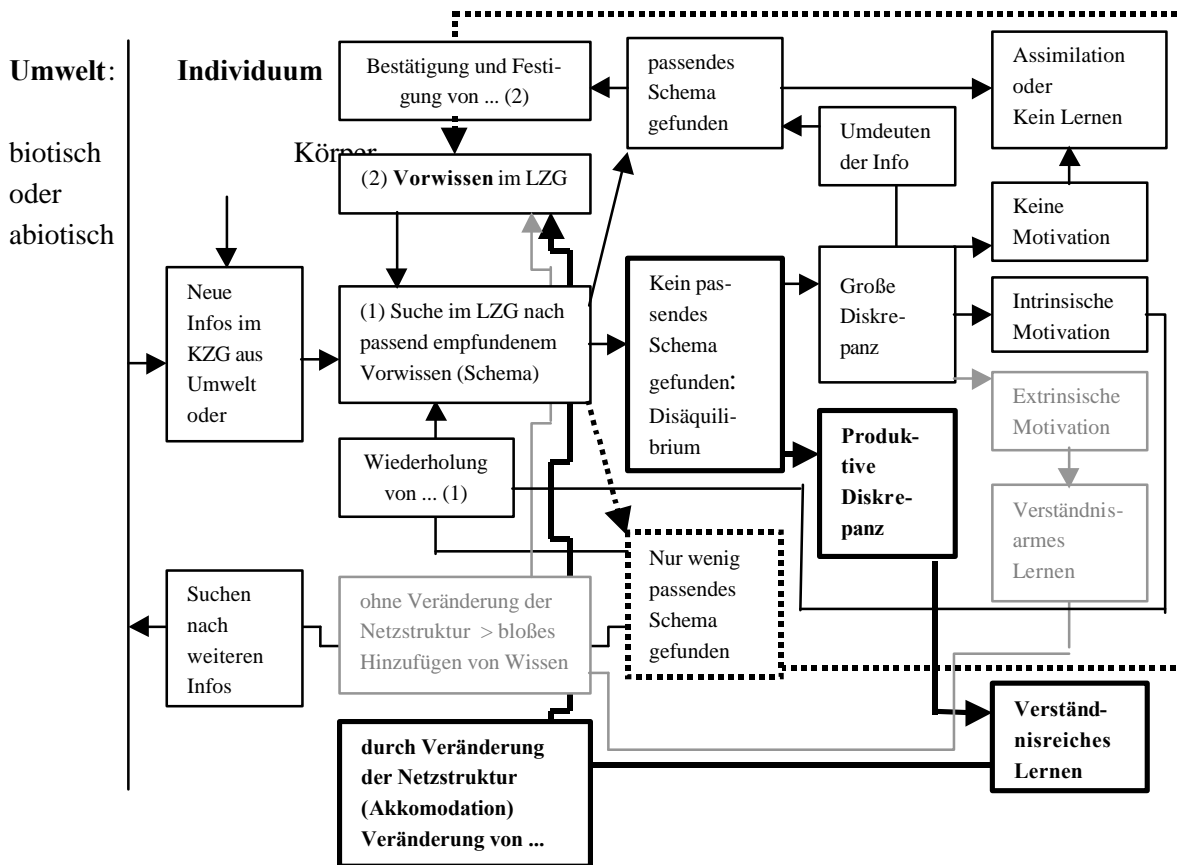


Abb. 3-14: Mögliche kognitive Prozesse der Informationsverarbeitung (Erläuterungen s.u.)

Erläuterungen zur Abbildung 3-14:

Ähnlich wie die Abbildung 3-13 ist auch diese Grafik als Modellvorstellung zu verstehen. Sie soll Denkprozesse zur Informationsverarbeitung bei Menschen im Sinne der oben erläuterten Schematheorie und unter Annahme der netzwerkartigen Struktur der Wissensrepräsentation verständlich machen; insbesondere mögliche Ansatzpunkte, an denen das Vorwissen bei Informationsver-

beitungsprozessen beeinflussend eingreift, sollen verdeutlicht werden. Aspekte zu Motivation³⁵ sind sehr stark vereinfacht. Die folgenden Erläuterungen beziehen sich auf Situationen aus dem Schulalltag:

Ein Schüler wird im Schulunterricht mit Informationen aus der biotischen Umwelt (Mitschüler oder Lehrer, evtl. andere lebende Organismen) oder abiotischen Umwelt (Texte, Grafiken, Modelle, ...) konfrontiert. Selten sind die Informationen aus dem Körper des Lernenden für die aktuell behandelten Unterrichtsthemen lernrelevant (Informationen aus dem Körper wie z.B. die Empfindung "Reibung erzeugt Wärmegefühl" oder physiologische Empfindungen wie Hunger oder Müdigkeit). Sie werden deshalb im Folgenden nicht beachtet.

Das Vorwissen hat - wie bereits in Abbildung 3-13 verdeutlicht - die Aufmerksamkeit auf bestimmte Einzelheiten gelenkt bzw. als Filter andere Informationen, die aufgrund z.Zt. aktiver Schemata weniger bedeutsam erscheinen, ausselektiert (vgl. REIMANN 1997).

Die wahrgenommenen Informationen versucht sich der Schüler zu erklären, indem er sein Langzeitgedächtnis danach durchsucht, ob es Schemata³⁶ enthält, die eine bestmögliche Passung zu dem Wahrgenommenen aufweisen und deshalb eine sinnvolle Deutung/Klärung der Informationen ermöglichen: "Die Interpretation eines Umweltereignisses entspricht (...) der Selektion eines Schemas (...)." (REIMANN 1998). Drei Ergebnisse dieser Suche sind möglich. Jedes Suchergebnis führt zu einer anderen Weiterverarbeitung der wahrgenommenen Informationen:

1. Der Schüler findet ein Schema, in dessen Leerstellen sich die wahrgenommenen Informationen voll einpassen. Die neuen Informationen werden assimiliert, ohne dass es dabei zu einer Neuorganisation der netzwerkartigen Wissensstruktur kommt. Stattdessen kann es durch neue Verbindungen zwischen alten und neuen Wissenseinheiten zu einer verstärkten, intensiveren Vernetzung und damit zu einer Bestätigung des bisherigen Vorwissens kommen.
2. Auch bei der zweiten theoretischen Möglichkeit findet der Schüler ein *ihm* passend erscheinendes Schema. Da die Schemata der Kernaussage 2 (vgl. S. 57) zur Folge nach individuellen Viabilitätsüberlegungen ausgewählt werden, ist mit der Auffindung eines als passend empfundenen Schemas aber noch keine Aussage über die "objektive", fachwissenschaftliche Angemessenheit bzw. Richtigkeit des Schemas gemacht. Hat der Schüler z.B. bestimmte Aspekte des ihm Dargestellten ignoriert und infolgedessen unangemessene Schemata ausgewählt (fehlerhaftes, unvollständiges oder unsicheres Wissen, vgl. Wissenstaxonomie, S. 74), so kann er den dann falschen Schluss ziehen, dass die augenblicklich aktiven Schemata in der Lage sind, das Erfahrene angemessen zu deuten, zu erklären. Statt einer erforderlichen Akkomodation nimmt der Schüler dann eine Assimilation vor, würde also in diesem Fall fälschlicher Weise sein Vorwissen bestätigen (fett gepunktete Linie). Er kann aber auch erkennen, dass seine Erklärung für das Wahrgenommene z.B. zu allgemein und deshalb noch unzureichend ist. Um sein Verständnis zu verbessern, könnte er entweder intern nach einer besseren Lösung (passenderem Schema) suchen oder extern in der Umwelt nach weiteren Informationen fahnden (z.B. durch Nachfragen beim Lehrer oder durch genaueres Hinsehen aus einem anderen Betrachtungswinkel bei einem Experiment).

³⁵Zur Motivation werden u.a. behavioristische Triebreduktionstheorien, das Streben nach Selbstverwirklichung, das Bedürfnis nach Ordnung und Vorhersagbarkeit sowie die Konsequenzen, Erwartungen und Wertschätzungen bezüglich bestimmter Verhalten und ihrer Folgen diskutiert (KRECH & CRUTCHFIELD 1997).

³⁶Der Einfachheit halber wird im Folgenden z.T. vom Auffinden bzw. Aktivieren eines Schemas gesprochen: Zur Steuerung der Aufmerksamkeit sowie zur Deutung/Erklärung von Wahrgenommenem dürften tatsächlich jedoch viele unterschiedliche Teilstücke des Wissens eines Menschen (Schemata, Subschemata und deren Wissenseinheiten) aktiviert sein.

3. Als dritte Möglichkeit nimmt der Schüler Informationen wahr, zu denen er kein passendes Schema findet. Er kann das Erfahrende deshalb zunächst nicht für sich befriedigend erklären; in der Ausdrucksweise PIAGETS ist sein kognitives Gleichgewicht gestört (Disäquilibrium). Der entstandene *kognitive Konflikt* kann fünf unterschiedliche Reaktionen auslösen: A) Das bisher Unverstandene erscheint dem Schüler so schwer, so wenig einsichtig, dass er frustriert ist und keine Motivation verspürt, sich der Arbeit zu unterziehen, nach einer befriedigenden Erklärung zu suchen, um anschließend sein Netzwerk an Vorwissen umzustrukturieren. B) Der frustrierte Schüler kann versuchen, die wahrgenommenen Informationen so umzudeuten, dass sie wieder zu einem Schema seines Vorwissens passen. Statt einer Akkomodation führt der Schüler dann eine Assimilation durch. C) Der Schüler versteht wegen des fehlenden passenden Schemas das Erfahrene nicht, sieht sich aber gezwungen, die Informationen zu behalten (z.B. weil sie für einen Test wichtig sein können). Bei einer solchen hier als "extrinsischen Motivation" gekennzeichneten Situation versucht der Schüler, Informationen abzuspeichern, zu "lernen". Wegen des fehlenden Verständnisses kann das Erfahrene nur "verständnisarm" bzw. sogar nur "verständnislos", quasi mechanisch zu dem bisherigen Wissensseinheiten im LZG dazugefügt werden. Ein Vernetzen mit dem Vorwissen findet nur in geringem Maße statt, ein Umorganisieren des bisherigen Vorwissens, ein Konstruieren neuen "verstandenen" Wissens findet nicht statt. Dieser Weg ist in der Abbildung hellgrau dargestellt. D) Der Schüler kann das Wahrgenommene zwar nicht verstehen, ist jedoch so (intrinsisch) motiviert, dass er aktiv versucht, im LZG besser passende Schemata zu finden, die es ihm ermöglichen, die Diskrepanz zwischen Erfahrung und Vorwissen auf ein produktives Maß zu verringern, d.h. Schemata zu finden, mit deren Hilfe er sich einen Zugang zu dem zu lösenden Problem schaffen kann. E) Der Schüler findet zwar ein nicht passendes Schema. Die Diskrepanz zwischen seiner Wahrnehmung und seinem Vorwissen ist jedoch so geartet, dass ein verständnisreiches Lernen durch Veränderung der Netzstruktur im LZG initiiert wird. Dieser Weg der Wissenskonstruktion als der im Unterricht erwünschte ist in der Abbildung durch Fettdruck hervorgehoben.

SCHMIDT (1989) kennzeichnet diesen Lernprozess als einem Umorganisationsprozess: Das nur z.T. passende Schema (SCHMIDT spricht von Konzepten) wird zum "Nucleus" (in der Bedeutung von Kristallisationskeim) für das neue viablere Schema.

RUMELHART & NORMAN postulieren aufgrund logischer Überlegungen drei Klassen von Veränderungsformen, denen Schemata unterliegen können:

Wachstum: Da Schemata Gedächtnisinhalte organisieren, lernt ein System, indem es neue Erfahrungen unter existierenden Schemata subsumiert.

Anpassung: Da Schemata Variablen enthalten, die Hypothesen darstellen, lernt ein schemabasiertes System durch Erfahrung mehr über die Wertebelegung dieser Variablen.

Umstrukturierung: Damit wird die Entwicklung neuer Schemata bezeichnet, sei es durch Induktion, sei es durch Ableitung aus existierenden Schemata (Zusammenfassung in REINMANN 1998).

Die Abbildungen 3-13 und 3-14 verdeutlichen den Zusammenhang zwischen Vorwissen (Schülervorstellungen) und dem Schüler aktuell angebotenen Informationen und machen so deutlich, wie vorunterrichtliches Vorwissen das Verarbeiten von Informationen und damit das Lernen von Neuem bzw. das Denken/Problemlösen tiefgreifend beeinflusst. Folgende Zusammenhänge zwischen Vorwissen und Informationsverarbeitungsprozessen können nach den dargestellten Theorien zur Wissensrepräsentation und unter Hinweis auf die vier didaktisch relevanten Kernaussagen zum Konstruktivismus wie folgt zusammengefasst werden:

Vorwissen verleiht Sinneswahrnehmungen Bedeutung.

Mit den Sinnen aufgenommene Informationen enthalten für das empfangene Individuum zunächst keine Bedeutung. Erst durch die Interpretation des Empfangenden im Rahmen seines Vorwissens wird den Sinnesdaten Bedeutung verliehen. Mit dem Ohr aufgenommene Schallwellen werden erst durch den Vergleich vorheriger ähnlicher Sinneseindrücke z.B. als Worte verstanden. Welcher Zusammenhang mit aufgenommenen Sätzen vom Empfänger verstanden und damit wahrgenommen wird, hängt dabei wiederum von der Interpretation auf Grundlage des im LZG gespeicherten Vorwissens ab. Sprache (wie auch alle anderen Sinneseindrücke) übermittelt keine Bedeutung an sich (vgl. Kernaussage 4, S. 60).

Die Bedeutungszuweisung ist dabei nicht beliebig. Kriterien zur angemessenen Bewertung sind dem Individuum zum Teil angeboren, zum Teil aus individuellen Auseinandersetzungen mit der Umwelt entstanden (vgl. Kernaussage 3 und 4, S. 58 und S. 60). Das "Bremer Komplexitätsmodell" stellt diesbezüglich ergänzend heraus, dass die Bewertungskriterien kontextabhängig gelernt und zur Handlungskontrolle eingesetzt werden (vgl. AUFSCHNAITER & WELZEL 1997).

Vorwissen steuert und beeinflusst die Sinneswahrnehmung.

Was Menschen wahrnehmen (können), hängt von ihrer Aufmerksamkeit ab, welche sowohl in Hinblick auf das Niveau als auch bezogen auf die Richtung schwanken kann. Diese selektive Aufmerksamkeit wird nach der gängigen Theorie durch die begrenzte Kapazität für mentale Verarbeitung erklärt (ANDERSON 1996). Die Richtung der Aufmerksamkeit ist dabei durch die vom Wahrnehmenden verfolgte Strategie zur Bewältigung eines Übermaßes an potentiellen Informationen bestimmt. Die z.T. bewusste und z.T. unbewusste Strategie wird durch das Vorwissen beeinflusst. Das Vorwissen eines Schülers dient dazu, seine Aufmerksamkeit (Wahrnehmung) auf bestimmte Aspekte zu fokussieren und die wahrgenommenen Sinneseindrücke zu deuten und Zusammenhänge zu erklären. Hierbei werden zumeist viele unterschiedliche einzelne Wissenseinheiten – abhängig vom jeweiligen Kontext der Wahrnehmung – aktiviert und zu einer aktuellen Vorstellung verknüpft. Dabei kann es sich einerseits um eine Aktualisierung von bereits früher konstruierten Vorstellungen und andererseits um neu entwickelte Vorstellungen handeln. Neben Faktenwissen haben bei diesen Prozessen der Informationsverarbeitung auch oft langfristig wirksame persönliche Faktoren Einfluss, wie etwa die Bedürfnisse, Emotionen, Einstellungen und Werte des Betreffenden (GLYNN 1991) - HÄUBLER et al. (1998) sprechen von "affektiven Aspekten". Je stärker unser momentanes Bedürfnis ist, desto eher werden in der Umwelt Objekte und Vorgänge wahrgenommen, die den Bedürfnissen entsprechen. Viele der Konstruktionen und Verzerrungen beim Wahrnehmen und dem anschließenden Erinnern resultieren daraus, "dass neue Informationen im Licht der Erwartungen aufgrund bereits existierender Schemata interpretiert werden. Hinweise des gegenwärtigen Inputs lenken uns auf ein bestimmtes Schema, und wir machen uns daran, den Rest des Bildes mit schemenrelevanter Information aufzufüllen" (ZIMBARDO 1992). Dabei werden nicht nur die eintreffenden Reize (Inputs) so organisiert, dass sie am besten zueinander passen, sie werden auch so organisiert, dass sie zu den anderen aktuellen Aktivitäten des Wahrnehmens passen (vgl. Viabilität im Konstruktivismus, Kernaussage 2, S. 57). So können wir z.B. bei guter Laune auch negativen Erlebnissen immer noch etwas Positives abgewinnen. "Da wir heute in der Regel wählen können, wo hin wir uns begeben - und somit auch, mit welchem Teil der Welt wir in Berührung kommen werden - haben wir es entsprechend häufig mit Dingen und Vorgängen zu tun, die in Einklang mit unseren Einstellungen und Grundwerten stehen. Kompatible (vereinbare) Wahrnehmung zählt daher in der Regel zu unseren häufigsten und naheliegendsten Erfahrungen. Dies ist wahrscheinlich eine Erklärung für die außerordentliche Dauerhaftigkeit einmal erworbener Einstellungen und Wertbegriffe. (...) Oft ist zu beobachten,

dass jeder aus seinem früheren Leben stammende Einstellungen (Vorwissen eines Schülers über die Zusammenhänge naturwissenschaftlicher Phänomene, Anmerkung des Autors) aufrechtzuerhalten sucht und diese sogar verstärkt, indem er, wann immer es möglich ist, Dinge und Ereignisse aufsucht (Sinneseindrücke interpretiert), die zu seiner ursprünglichen Erwartungshaltung passen, und sie als nochmalige Bestätigung empfindet." (KRECH & CRUTCHFIELD 1997). Dieser Aspekt "Bestätigung des bereits vorhandenen Wissens (Vorwissen/Vorstellung) durch aktuelle Sinneseindrücke" wird im nächsten Abschnitt weiter ausgeführt.

Vorwissen beeinflusst, wie dargestellt, das, was Individuen wahrnehmen. BREWER & LAMBERT (in DUIT 1995) machen in diesem Zusammenhang darauf aufmerksam, dass nach ihren Untersuchungen nur dann eine Beeinflussung der Wahrnehmung durch Vorwissen stattfindet, "wenn die zu beobachtenden Sinnesdaten mehrdeutig und damit interpretationsbedürftig sind, also unterschiedliche Deutungen erlauben."

DRIVER (1985) fasst zusammen: Vorstellungen beeinflussen die Art und Weise, wie Schüler mit dem Lernstoff umgehen: "Sie beeinflussen nicht nur ihre Interpretation von Ergebnissen, ihre Erklärungen, ihre Konstruktion der Problemrepräsentationen, sondern sie führen auch dazu, dass ihre Aufmerksamkeit in eine bestimmte Richtung gelenkt wird, und das lenkt wiederum die Beobachtung und leitet die Experimente, die sie machen."

Vorwissen besteht trotz widersprüchlicher Sinneswahrnehmungen.

Selbst wenn Sinnesdaten durch das Vorwissen so interpretiert werden, wie es der allgemeinen Wahrnehmung entspricht (vgl. Kernaussage 3, S. 58) oder wie es z.B. ein Lehrer in einem Experiment beabsichtigt hat, bedeutet dies noch nicht, dass die Beobachtung vom Wahrnehmenden als wahr und damit als überzeugend in Hinblick auf eine Veränderung des Wissens bewertet wird. Viele Untersuchungen haben vielmehr gezeigt, dass Menschen gar nicht ohne weiteres bereit sind, ihr Vorwissen in Frage zu stellen und zu verändern (vgl. z.B. APPLETON 1997; BRINKMAN 1997; CHINN & BREWER 1993; TIBERGHEN 1980). Oft wird eher versucht, das bisherige Vorwissen dadurch zu retten, dass die wahrgenommenen Widersprüche einfach ignoriert werden. Auch wird beobachtet, dass die betreffenden Daten wegen mangelhaft erscheinender Zuverlässigkeit und Vertrauenswürdigkeit zurückgewiesen werden oder die betroffenen Individuen Phantasieantworten konstruieren, die dann "plausibel" erklären, warum in diesem speziellen Fall die Erwartung aufgrund des Vorwissens nicht zur tatsächlichen Beobachtung passt. DUIT (1991) sieht den Grund für derartiges Verhalten darin, dass Vorwissen zumeist im Verlauf vieler Jahre und aufgrund eigener Erfahrungen konstruiert worden ist und deshalb viele Verbindungen zu weiteren Inhalten des LZGs aufweist - derartiges Vorwissen ist in der Abbildung zur netzwerkartigen Struktur der Wissensrepräsentation (Abb. 3-12, S. 78) als fettgedruckte Elemente hervorgehoben. Da das eigene Vorwissen dem Anwender durch ihn zufriedenstellende Erklärungsmächtigkeit Sicherheit beim Umgang mit der Umwelt gegeben hat - da ihm das Vorwissen also viabel erschien (Kernaussage 2, S. 57) - kann er ein Infragestellen als Bedrohung erleben (VOSNIADOU 1988). Ebenfalls für das Beibehalten des alten Vorwissens spricht, dass man sich beim Aufgeben des bisherigen Vorwissens eingestehen müsste, "eine Sache lange Zeit "falsch" gesehen zu haben" (HÄUBLER et al. 1998).

Vorwissen verhindert nicht das Aneignen von Wissen, das dem Vorwissen widerspricht.

Das Vorwissen eines Individuums kann Schemata unterschiedlicher Wissensinhalte umfassen, die sich widersprechen können. Zwischen solchen sich widersprechenden Inhalten werden dabei unter Annahme einer netzwerkartigen Struktur der Wissensrepräsentation keine Verknüpfungen angenommen (vgl. Abb. 3-12, S. 78). Derartige Inhalte existieren im Gedächtnis quasi unbeachtet nebeneinander. So lernt ein Schüler z.B., wie die Ergebnisse unserer Untersuchungen zeigen (vgl. Kap. 4), obwohl er aus der Alltagssprache heraus Energie als einen "verbrauchbaren Stoff" kennen gelernt hat, in der Schule "widerstandslos" ohne offene Proteste, dass Energie im Sinne der Thermodynamik "nicht verbraucht" werden kann. Das widerstandslose Aneignen dieses für den Schüler dann zweiten "Energie-Schemas" (Schema deshalb, weil noch andere Wissensinhalte zum wissenschaftlichen Energiebegriff gelernt werden) lässt auf ein (verständnisloses?) Aneignen ohne entsprechende Verknüpfung mit dem bisherigen Energie-Vorwissen schließen.

Auch wenn das in Schemata organisierte Vorwissen unterschiedliche Qualitäten (z.B. Aussagemächtigkeit, vgl. Übersicht zur Taxonomie des Wissens, S. 74) besitzt, ist eine Vorhersage über das Anwenden der Schemata allein über die Qualität nicht möglich.

Vorwissen wird situationsbedingt aktiviert.

Jede Situation hat ihren eigenen Wertmaßstab und bewertet Schemata unterschiedlich: Vorwissen wird deshalb in einer bestimmten Situation als angemessen angewendet bzw. bleibt als nicht passend unberücksichtigt. So bedeutet allein der Besitz von Schemata mit wissenschaftlichen Inhalten (z.B. das Schema vom Energiebegriff im Sinne der Thermodynamischen Hauptsätze: Energie kann weder erzeugt noch verbraucht werden) bei gleichzeitigem Besitz von Schemata mit Wissensinhalten aus dem Alltag (z.B. das Schema zum umgangssprachlichem Gebrauch des Begriffs Energie: Energie kann verbraucht werden) noch nicht, dass stets die Schemata mit den kontextflexiblen wissenschaftlichen Inhalten angewandt werden. Ein Physiker wird z.B. zu seinem sechs Jahre alten Kind sagen, das im Flur das Licht unnötig hat brennen lassen: "Mach bitte das Licht aus, wir *verbrauchen* sonst zu viel Energie (bzw. Strom)!"; er wird nicht formulieren: "Mach bitte das Licht aus, wir *wandeln* sonst zu viel Energie (bzw. Strom) *um*". Das Beispiel zeigt: Schemata werden *situationsbedingt* unter der Maßgabe, *viabile Handlungen* zu ermöglichen, angewandt. Für den Physiker ist es in seiner Rolle als Vater, anders als in der Rolle als Wissenschaftler, *viabler* (d.h., in der Situation nutzbringender), dem Kind gegenüber die vorstellungsfreundlichere (mit mehreren Erfahrungen verknüpfte) und deshalb hier passendere Formulierung des "Verbrauchens" zu wählen, als naturwissenschaftlich korrekt von "umwandeln" zu sprechen: Was verbraucht wird, ist weg (wie ein Bonbon). Wird der Ausdruck Energie bzw. Strom mit dem Begriff des "Verbrauchens" in Zusammenhang gebracht, ist für das Kind leicht begreiflich, dass auch Energie bzw. Strom - wie das begrenzte und begehrte Gut des Bonbons - vor dem Verbrauch geschützt werden muss. Der Begriff "verbrauchen" ist mit mehreren Schemata verbunden, die in dieser Situation eher zu der gewünschten Handlung führen als der Begriff "umwandeln".

Vorwissen beeinflusst Problemlösestrategien.

Vorwissen bleibt beim Aneignen von neuem Wissen nicht nur z.T. unberücksichtigt oder wird in Alltagssituationen nicht angewandt, obwohl es z.B. aufgrund des übergreifenden Kriteriums der Allgemeingültigkeit hätte benutzt werden müssen; Vorwissen beeinflusst auch die Problemlösestrategien seiner Besitzer: Vierjährige und Achtjährige sind mit Hilfe einer kleinen Wippe gebeten worden, herauszufinden, wo sich der Gleichgewichtspunkt von Stäbchen befindet. Es gab Stäbchen aus homogenem Material und Stäbchen die, ohne dass es von außen zu sehen war, ein Zusatzgewicht auf einer Seite eingelassen hatten. Die Vierjährigen hatten keine Schwierigkeiten die

Aufgabe zu lösen. Sie probierten einfach aus, wo sich der Gleichgewichtspunkt befand. Viele Achtjährige dagegen hatten Probleme, da sie bereits das Vorwissen besaßen, dass der gesuchte Punkt sich in der Mitte der Stäbchen befinden muss. Ihr Vorwissen war so stark (es müsste nach der Legende der Abb. 3-12 (S. 78) als fettgedrucktes Element mit vielen Verknüpfungen zu anderen Wissenseinheiten gekennzeichnet werden), dass es ihnen nicht möglich war, zur "trial and error"-Strategie der Vierjährigen zurückzugehen (KARMILOFF-SMITH & INHELDER nach HÄUBLER et al. 1998).

3.1.4 Zusammenfassende Betrachtung über das Verständnis von Schülervorwissen

Verschiedene Begriffe für Schülervorwissen kennzeichnen verschiedenartige Haltungen gegenüber Schülervorwissen.

Das Vorwissen der Schüler wird in der deutschen und angelsächsischen Literatur mit unterschiedlichen Begriffen bezeichnet. Die verschiedenen Termini werden nicht wertneutral verwandt, sondern zeigen, welche Akzentuierung die Autoren vornehmen und lassen Rückschlüsse darüber zu, welche Haltung die Personen gegenüber dem Vorwissen einnehmen.

In der deutschsprachigen Literatur ist der Begriff der Schülervorstellung am häufigsten. Man findet aber auch u.a. Bezeichnungen wie Alltagsvorstellung, Konzept (z. B. DUIT, JUNG & PFUNDT 1981; PFUNDT & DUIT 1994), Schülervorverständnis (SCHECKER 1985), vorunterrichtliche Vorstellung (z. B. DUIT 1992) und Schülertheorie (HAUKE 1981)³⁷. In der englischsprachigen Literatur gibt es die Bezeichnungen students' conceptions, students' ideas, alternative conception, alternative framework, prior knowledge, preinstructional concept, preconcept und concept.

Die bis hierhin genannten Begriffe werden wertneutral verwandt. Es wird so dem Umstand Rechnung getragen, dass das Vorwissen der Schüler für die Bewältigung des Alltags durchaus ausreichend sein kann, auch wenn es wissenschaftlichen Ansprüchen nicht genügt (JUNG 1981a). So betonen alternative conception und alternative framework den alternativen Status des Vorwissens, wobei framework eine übergeordnete Ebene andeutet, in die sich einzelne Vorwissenseinheiten einbetten lassen (vgl. Übersicht zur Terminologie in ABIMBOLA 1988).

In anderen Arbeiten wird dagegen deutlich auf die Unterschiede zwischen wissenschaftlichem Wissen und Vorstellungen aus dem Alltagsleben hingewiesen: Wissenschaftliches Wissen wird dabei als die Gesamtheit wissenschaftlicher Erkenntnisse definiert, die innerhalb der Gemeinschaft der Wissenschaftler benutzt, diskutiert und weiterentwickelt werden. FEDRA (1989) zählt zu diesem auf systematische Weise und unabhängig vom Kontext erworbenen Wissen "Modelle, Theorien, Vorstellungen, Definitionen, Gesetze, Erkenntnismethoden". Alltagswissen ist dagegen gekennzeichnet durch Erfahrungen, die Individuen persönlich (im Vergleich zur wissenschaftlichen Forschung *eher* zufällig, vgl. Fußnote 22, S. 66) und von der jeweiligen Situation abhängig in ihrem Leben nach und nach sammeln (BUCK 1990, vgl. auch Wissenstaxonomie, S. 74). Die Begriffe misconception, misunderstanding, erroneous concept bzw. idea und der deutsche Begriff Fehlvorstellung weisen auf die unzureichende Erklärungsmächtigkeit und den unwissenschaftli-

³⁷ BUDDING, GERHARDT & PIEPENBROCK (1992) schlagen für den deutschen Sprachraum ein Nomenklatursystem zur Vermeidung doppelter Bedeutungsebenen vor, in dem sie die Qualität des Vorwissens hinsichtlich 1) zeitlicher Stellung zur Untersuchung bzw. zum Unterricht, 2) Bewertung in Bezug auf ein anderes Konzept, 3) Anwendungsmöglichkeit bzw. -situation, 4) Brauchbarkeit für die Kommunikation und 5) Zugehörigkeit zu Klassen bzw. hinsichtlich Reichweite des Vorwissens charakterisieren.

chen Charakter solchen Vorwissens hin: Wissenschaftlich anerkannte Erklärungen sind der Standard, an dem das Schülervorwissen gemessen wird (vgl. ABIMBOLA 1988).

Viele Didaktiker (z.B. BRINKMANN 1997; DUIT 1993; KATTMANN & GROPENIEBER 1996; MINSTELL 1991; NIEDDERER 1994) stellen die genannten Termini in Frage oder sprechen sich deutlich gegen eine allgemeine Abwertung von Schülervorwissen aus. Sie betonen in ihren Arbeiten den individuellen Nutzen für die Besitzer und stellen heraus, dass derartiges Vorwissen verständnisfördernd in den entsprechenden Fachunterricht einbezogen werden kann und sollte. U.a. GERHARDT (1994) und MIETZEL (1998) unterstützen diese Einschätzung, geben aber auch zu bedenken, dass die Begriffe *misconception* und *Fehlvorstellung* sowie ähnliche Ausdrücke nicht immer unangemessen scheinen. In Hinblick auf das Ziel naturwissenschaftlichen Unterrichts, bestimmte Wissensinhalte aus fachwissenschaftlicher Sicht möglichst korrekt zu vermitteln, können je nach Kontext ihrer Ansicht nach Schüleräußerungen auch als sachlich falsch gekennzeichnet werden. Diese Auffassung wird in der vorliegenden Arbeit geteilt.

Die Begriffe "Vorstellung" und "Fehlvorstellung" im Rahmen dieser Arbeit

Wegen der nur kontextabhängigen Wertung von Schülervorwissen wird, wie bereits geschehen, in *nicht direkt auf den Unterricht* bezogenen Erläuterungen der wertneutrale Begriff Schülervorstellungen bzw. Schülervorwissen benutzt. Damit schließt sich die Terminologie dieser Arbeit dem nach BRINKMANN (1997) herrschenden Trend an, zunehmend die Bezeichnung *alternative conceptions* gegenüber den Begriff *misconceptions* zu bevorzugen. Beziehen sich jedoch in dieser Arbeit Ausführungen auf das Ziel naturwissenschaftlichen Unterrichts, bestimmte Vorstellungsinhalte zu relativieren bzw. zu korrigieren, erscheint zur besseren Abgrenzung die Verwendung des Begriffs *Fehlvorstellungen* legitim.

Das Verständnis von Schülervorwissen im Rahmen dieser Arbeit

Schon JUNG (1978a) hat darauf hingewiesen, dass das Verständnis von Schülervorwissen auf verschiedene Aspekte der Unterrichtsforschung und -gestaltung Einfluss hat. So zeigt das Verständnis zu Schülervorwissen Auswirkungen auf die Erhebungsmethoden, damit auf die Ergebnisse und nicht zuletzt auch auf die didaktischen Konsequenzen für die konkrete Unterrichtsgestaltung, die aus den Ergebnissen der Untersuchungen gefolgert werden können. In diesem Abschnitt wird das in dieser Arbeit vertretene Verständnis von Schülervorwissen erläutert. Die Ausarbeitung stützt sich dabei auf die didaktisch relevanten Kernaussagen zum Konstruktivismus (Kap. 3.1.2), auf die Grundlagen der zuvor erläuterten theoretischen Annahmen zu Schülervorwissen, die angesprochenen unterrichtlichen Effekte, die durch Schülervorwissen entstehen (Kap. 3.1.3), und auf die Ansichten und Erfahrungen aus vorhergegangenen eigenen Erhebungen (vgl. Kap. 4) und unterrichtlichen Anwendungen von Schülervorwissen (vgl. Kap. 5).

Das Verständnis von Schülervorwissen in dieser Arbeit lässt sich wie folgt charakterisieren:

Schülervorwissen ist zwar individuell aber nicht beliebig. Das individuelle Schülervorwissen beinhaltet im Vergleich zum Vorwissen anderer Schüler zum einen *inhaltlich ähnliche* und zum anderen für verschiedene Schüler *ähnlich relevante* Wissensinhalte. Diese Auffassung vom Schülervorwissen stützen die nachfolgend aufgeführten Gedankengänge:

Ohne ähnliches Vorwissen wäre kein Unterricht von Schülergruppen möglich.

Die Ausführungen zu den Kernaussagen des Konstruktivismus haben deutlich gemacht, dass jeder Schüler sich sein eigenes Wissen konstruiert. Dieses individuelle Netzwerk von Wissensseinheiten ist für Außenstehende prinzipiell nicht "objektiv" wahrzunehmen, da auch jeder Betrachter nur aufgrund seines eigenen Vorwissens beobachtet und diese Beobachtungen anschließend unter Zuhilfenahme seines Vorwissens deuten kann (vgl. Kernaussage 1, S. 54): Menschen können sich nur eine *Vorstellung* über die Vorstellungen ihrer Mitmenschen machen. Auch bei Abfragungen (Unterrichtsgesprächen, Tests, Arbeiten) bleibt dieses Prinzip des individuellen Wissens gültig. Gäbe es neben den zur Kommunikation essentiellen konsensuellen Bereichen wie Schrift, kulturelle Ansichten und Wertesysteme jedoch nur individuelles Wissen ohne Überschneidungen zwischen verschiedenen Individuen, wäre naturwissenschaftlicher Unterricht kaum möglich. Gerade hier ist es bei Gruppenunterricht unerlässlich, dass bestimmte Erfahrungen und Beobachtungen bei vielen Schülern in ähnlicher Form als Ausgangspunkt für den Unterricht vorliegen³⁸. Nur bei ähnlichen Erfahrungen der zu unterrichtenden Schüler macht es Sinn, den DIESTERWEGschen "Standpunkt des Schülers" im Gruppenunterricht zu berücksichtigen.

Träfe ein Lehrer grundsätzlich so viele Standpunkte wie Schüler ohne Ähnlichkeiten in den Vorwissensinhalten in seiner Lerngruppe an, wäre ein Unterricht unter den oben skizzierten aktuellen schulorganisatorischen Randbedingungen nur wenig erfolgversprechend möglich. Dass es derartige Ähnlichkeiten bei den vorunterrichtlichen Erfahrungen von Schülern gibt, wird im Rahmen dieser Arbeit nicht bezweifelt (vgl. nächsten Abschnitt).

Bestimmte Wissensinhalte tauchen im Alltag vieler Menschen in verschiedenen Kontexten häufig auf.

Viele Alltagsbeobachtungen (wie z.B. der offensichtliche "Verbrauch der elektrischen Energie" von Batterien und Akkumulatoren) sowie viele Wahrnehmungen, die im Zusammenhang mit Schrift und Sprache stehen (wie z.B. die Formulierungen "der Strom ist verbraucht", "die Batterie ist leer", "diese Geräte sind Energiefresser"), kommen im Laufe des Lebens in den verschiedensten Situationen bei verschiedenen Menschen aufgrund ihrer herausragenden Alltagsbedeutung immer wieder ähnlich vor (vgl. auch den Aspekt "Vorwissen steuert und beeinflusst die Sinneswahrnehmung", S. 83). Die Inhalte dieses Vorwissens bzw. die entsprechenden Wissensinhalte sind deshalb mit vielen anderen Wissensseinheiten bzw. Schemata assoziativ vernetzt. Sie werden wegen dieser vielen Verknüpfungen schneller erinnert und dürften somit auch häufiger zur Erklärung und Beschreibung von ähnlich wahrgenommenen Sinneseindrücken eingesetzt werden

Vorwissen, das mit dem eigenen Körper erlangt wurde, ist viabel und bei vielen Menschen sehr ähnlich.

Vorwissen muss für das Individuum viabel sein (vgl. Kernaussage 2, S. 57): Erfahrungen, die Menschen mit ihrem eigenen Körper machen, wie z.B. "durch das Reiben der Hände empfinde ich Wärme" oder "an hellen, sonnenreichen Tagen geht es mir gut, und ich empfinde mehr Energie/Tatendrang für Aktivitäten" sind authentisch, erscheinen natürlich und nicht manipulierbar, weil jeder sie im Leben immer wieder selbst, ohne die Einflussnahme eines anderen Menschen, machen oder sie häufig direkt beobachten kann. Sie dürften deshalb für alle Menschen eine hohe Glaubwürdigkeit besitzen und im Vergleich zu Informationen aus zweiter Hand, wie z.B. aus Er-

³⁸ MATURANA (1982) hebt hervor, dass die netzwerkartige Struktur der Repräsentation menschlichen Wissens zwar individuell, aber einerseits wegen der morphologischen Gleichartigkeit der Konstrukteure und andererseits wegen ähnlicher Sozialisationsbedingungen nicht völlig unterschiedlich ist.

zählungen oder aus den Medien wie TV, Zeitung oder Buch, als "objektiv" erscheinen. Vorwissen, das aus direkten Erfahrungen mit dem eigenen Körper stammt, dürfte demnach als besonders viabel (passend) zum Erklären von naturwissenschaftlichen Phänomenen eingeschätzt werden. Die Schwierigkeit bei Unterrichtseinheiten zur Ethologie, den Schülern anthropomorphe Ausdrucksweisen in Bezug auf tierische Verhaltensweisen abzugewöhnen, ist ein Beleg für die hervorgehobene Stellung des durch Erfahrungen am eigenen Körper erworbenen Wissens (Beispiel für anthropomorphe Ausdrucksweisen: Die Schlange guckt böse. Sie kriecht langsam, da ihr wohl schlecht ist.). Das am und mit dem eigenen Körper erlangte "objektive" Vorwissen weist bei allen Menschen eines Kulturkreises aufgrund ähnlicher Körpereigenschaften und Lebensbedingungen in weiten Bereichen Übereinstimmungen auf.

Die Erfahrungswelten der einzelnen Individuen werden immer ähnlicher.

Durch die zunehmende Wirkung von Medien während der Sozialisation in der Schulzeit und wegen der Tendenz der Firmenzusammenschlüsse und der Globalisierung werden die Erfahrungswelten der einzelnen Individuen immer ähnlicher: Fernsehsendungen (besonders die Werbung, da sie in allen Kanälen im wesentlichen gleichartig ist), Videobänder, Computerspiele, Jugendzeitschriften und moderne Kinderbücher bestimmen mit ihren Inhalten einen wichtigen Teil der individuellen Erfahrungen eines jeden einzelnen Schülers. Damit werden (neue) konsensuelle Bereiche geschaffen, deren Wissensinhalte wegen der schnell wachsenden Anzahl von Teilhabern zunehmend als eine Grundlage für eine erfolgreiche Verständigung und deshalb zunehmend als viables Wissen empfunden werden (vgl. Kernaussage 3, S. 58). Die Verständigung von Jugendlichen verschiedener Sprachkreise über Comicfiguren wie z.B. Pocemons ist hierfür ein Beispiel.

Die genannten Gedankengänge zusammenfassend kann formuliert werden: Das Verständnis von Schülervorwissen in dieser Arbeit ist erstens von der Annahme geprägt, dass Teile des Vorwissens bei verschiedenen Schülern ähnlich sind. Zweitens gehen wir davon aus, dass diese Elemente des Vorwissens, die wiederholt auftretenden Schemata/Wissenseinheiten (wiederkehrende Wissensbausteine), in verschiedenen Situationen von verschiedenen Schülern ähnlich häufig (wegen ähnlich vieler Verknüpfungen zu anderen Wissenseinheiten bzw. Schemata) kontextflexibel zur Interpretation von Sinneseindrücken und zur anschließenden Erklärung der wahrgenommenen Phänomene genutzt werden.

Damit wird jedoch nicht unterstellt, dass Schüler in einem bestimmten Problemzusammenhang immer mit einem bestimmten Vorwissen zu reagieren versuchen, dass das Vorwissen also einen statischen Charakter besitzen soll: Schon ENGEL CLOUGH & DRIVER (1986) konnten zeigen, dass ein Schüler auch in ähnlichen Situationen nicht immer wieder mit den gleichen Erklärungskonzepten, mit einem Standardvorwissen operiert. Eine eindeutige Zuordnung zwischen Wahrnehmung (Problem) und Erklärung (Lösung) findet nicht statt.

Diese Beobachtung ENGEL CLOUGHS & DRIVERS wird durch die Annahme einer Wissensrepräsentation in Schemata unterstützt: Schemata werden kontextspezifisch entwickelt und sind in ihrer Anwendung von mehreren, sich gegenseitig beeinflussenden Faktoren abhängig: Schemata beeinflussen die Aufmerksamkeit, wirken steuernd auf die Interpretation der selektiv wahrgenommenen Sinneseindrücke und engen damit die Möglichkeiten zur Erklärung von Wahrgenommenem ein. Da Sinneseindrücke meist jedoch in mehrere Leerstellen verschiedener Schemata passen, ist eine eindeutige Erklärung mit *einem* bestimmten Schema nicht möglich. Deshalb sind mehrere Deutungs- und Erklärungsmöglichkeiten für ein und dieselbe Wahrnehmung möglich (In diesem

Zusammenhang sei an v. FOERSTERS Kennzeichnung des Menschen als nicht-triviale Maschine erinnert, vgl. S. 55 Fußnote 11).

Die Annahme eines "grundlegenden Vorwissens" - grundlegend, weil bestimmte Elemente des Vorwissens immer wieder in verschiedenen Gedankengängen aktiviert werden - zeigt Parallelen zu Ansätzen, die außerhalb der Arbeitsgruppe um Frau Prof. Gerhardt in Bielefeld u.a. in Arbeiten von BETHGE (1988), ENGEL CLOUGH & DRIVER (1986), MISTRELL (1991) sowie NIEDDERER & SCHECKER (1992) publiziert wurden.

NIEDDERER & SCHECKER entwickelten das Konzept der "cognitive elements". Sie unterscheiden bei den kognitiven Strukturen von Lernenden zwischen aktuellen Konstruktionen (current constructions) und stabilen Elementen (deep structure). Die stabilen Elemente werden als früher gelernte Konzepte bzw. Denkweisen beschrieben. Diese dienen zur Erzeugung aktueller Konstrukte, die das Interpretieren und Erklären von aktuellen Wahrnehmungen ermöglichen. Die Annahme solcher "stabiler Elemente" korrespondiert mit dem in dieser Arbeit angenommenen grundlegenden Schülervorwissen.

Auch ENGEL CLOUGH & DRIVER sowie BETHGE haben in ihren Arbeiten derartige "feste Elemente thematischen Vorverständnisses" untersucht: So fanden ENGEL CLOUGH & DRIVER bei Aufgaben aus dem Bereich der Physik und Biologie in Äußerungen verschiedener Schüler ähnliche Begründungs- und Erklärungstypen. Solche Erklärungsweisen, die in einer Schülergruppe mehrfach bei der Lösung unterschiedlicher Aufgaben aus einem Themenbereich aufgetreten sind, wurden als "conceptual framework" bezeichnet. BETHGE untersuchte bei seinen Studien zu Schülervorstellungen aus der Atomphysik ebenfalls typische, in den Antworten vieler Schüler auftretende inhaltliche Merkmale. Solche Charakteristika, die von vielen Schülern zu einem Themenbereich geteilt wurden, bezeichnete BETHGE in Abgrenzung zu individuellen Vorstellungen als "thematisches Vorverständnis". Derartiges Schülerwissen hat MISTRELL zu kurzen, eng an die Sprache der Schüler angelehnten Einzelaussagen, "facets" genannt, zusammengefasst.

Mit dem in dieser Arbeit vertretenen Verständnis von Schülervorwissen, das für die konkrete Gestaltung von möglichst effektivem Biologieunterricht im Gruppenverband direkten praktischen Nutzen für den Unterrichtsalltag haben soll, wird keinerlei Wertung andersartiger Ansätze zum Umgang mit Schülervorwissen vorgenommen.

Verschiedene andere aktuelle Studien zur Thematik des Schülervorwissens (zumeist Schülervorstellungen genannt, s.o.) legen ihren Untersuchungsschwerpunkt zunächst auf das Verständnis einzelner Schüler, wie z.B. die Arbeiten von GROPPENGIEßER (1997) und HILGE (1999) im Rahmen des Modells zur Didaktischen Rekonstruktion, und versuchen daraufhin, gültige Kategorien zu identifizieren, deren Relevanz theoretisch abgesichert wird. Auf Basis der gesammelten Kenntnisse werden Folgerungen für die unterrichtliche Vermittlung der untersuchten Themenbereiche vorgeschlagen.

Andere Arbeiten untersuchen intensiv Prozesse der individuellen Wissensentwicklung bei Schülern. Hierzu wurde an der Universität Bremen das sogenannte "Bremer Komplexitätsmodell" zur qualitativen Beschreibung von Bedeutungsentwicklung entwickelt (Überblick in AUFSCHNAITER & WELZEL 1997, Zusammenfassung wichtiger Aspekte in AUFSCHNAITER 1998). In diesem Modell wird die Auffassung hervorgehoben, dass Vorstellungen "ständig situativ neu erzeugt werden müssen und dabei individuelle Dynamiken von Bedeutungsentwicklungen entstehen, die sowohl von der Veränderung der Situationen als auch der Ontogenese der beteiligten kognitiven Strukturen abhängen." (AUFSCHNAITER & WELZEL 1997). Es wird davon ausgegangen, " (...) dass Vorstellungen so nirgendwo im kognitiven System (Gedächtnis) repräsentiert sind, (...)"

(AUFSCHNAITER & WELZEL 1999) (vgl. auch Kap. 5, erste Praxiserfahrungen mit den beschriebenen Ansätzen dieser Arbeit).

Dem Lehrer bekanntes Schülervorwissen ist Grundlage zur Effizienzsteigerung.

Unter Berücksichtigung des zuvor erläuterten Verständnisses von Schülervorwissen ergibt sich die angestrebte Effizienzsteigerung des Biologieunterrichts aus folgenden Überlegungen: Vorwissen kann für das Erlernen neuen Wissens entweder unbedeutend, förderlich oder lernhindernd sein. Lernhindernd kann Vorwissen sein, indem es zu einer Blockierung notwendiger Gedankengänge führt oder aber wenn es so stark ist, dass es zum schnellen Vergessen des neuen erlernten Wissens führt (Altes Wissen überlagert neues Wissen).

Wenn dem Lehrer diejenigen lernfördernden und lernhindernden Elemente des Vorwissens bekannt sind, die von Schülern häufig in ihren Gedankengängen aktiviert werden, so kann er gezielt versuchen, einerseits förderliche Schemata zum verständnisvollen Lernen anzusprechen und andererseits diejenigen Informationen in ihrer Bedeutung zu begrenzen, die naturwissenschaftlichem und damit kontextflexibel anwendbarem Wissen widersprechen³⁹. Damit könnte ein Lehrer seine Unterrichtsgruppe - genauer: eine möglichst große Anzahl von Schülern dieser Gruppe - von ihrem eigenen, individuellen Standpunkt aus zum Unterrichtsgeschehen abholen. Eine Binnendifferenzierung soll damit natürlich nicht ausgeschlossen werden. Es geht vielmehr darum, die Unterrichtspassagen, die im Gruppenverband durchgeführt werden (ob nun aus didaktischen Gründen zum Einstieg in ein neues Thema oder schlicht aus "Machbarkeitsgründen" wegen der mangelnden Zeit für die Vorbereitung eines differenzierten Unterrichts), ebenfalls möglichst auf die individuellen Ausgangsvoraussetzungen der beteiligten Schüler auszurichten.

3.2 Fachdidaktische Grundlagen: Planung und Durchführung von konstruktivistischem Unterricht auf der Grundlage von Schülervorstellungen

3.2.1 Konsequenzen zur methodischen und inhaltlichen Unterrichtsgestaltung aus den Überlegungen zum Konstruktivismus

Die konstruktivistischen Aussagen zu Wissen und Wirklichkeit haben für schulische Lehr-Lernprozesse sowohl Einfluss auf methodische als auch auf inhaltliche Entscheidungen. Insbesondere im Biologieunterricht legt dabei die konstruktivistische Unterrichtsgestaltung die Basis für ein erfolgreiches Lernen. KLEIN & OETTINGER (2000) sprechen in Hinblick auf Biologieunterricht und Konstruktivismus von einer "vielpersprechenden Liaison". Zur Begründung führen sie aus: "Teil dieser "konstruktivistischen" Tradition im Biologieunterricht ist seine ausgeprägte Orientierung an den Erfahrungen der Schüler. Viel mehr als in den meisten anderen Fächern stellen Beobachtungen und Experimente einen wesentlichen Bestandteil der Biologiedidaktik dar."

³⁹In diesem Zusammenhang ein Rückgriff auf die Zielformulierung zu der vorliegenden Arbeit: Trotz der aus den aufgeführten Überlegungen begründeten erscheinenden Maßnahmen zur Effektivitätssteigerung des Unterrichts zeigen die alltäglichen Erfahrungen des Lehrerberufs, dass es *die* Maßnahme zur Effizienzsteigerung für alle Schüler nicht gibt. Möglichst vielen Schülern sollen die Veränderungen am Unterricht nützen, einigen werden sie jedoch keine Verbesserung, einigen sogar eine Verschlechterung ihrer Lernleistungen erbringen. Eine im Durchschnitt höhere Effizienz kann deshalb nur das Ziel sein.

Für fachdidaktische Überlegungen ist pragmatisches moderates Konstruktivismusverständnis sinnvoll.

Wie in Kapitel 3.1.2 angedeutet, gibt es verschiedene Ausrichtungen der Konstruktivismusdebatte. Die hier getroffenen vier Kernaussagen zum Konstruktivismus wurden nicht bestimmten Polen der Konstruktivismusdebatte zugeordnet. Eine kritische zusammenfassende Wertung der häufig diskutierten Ansätze "Radikaler Konstruktivismus" und "Sozialer (Systemischer) Konstruktivismus" macht in Hinblick auf das Ziel schulischer Bildung

"Wirklichkeit (...) zu erschließen und (...) verantwortlich mitzugestalten (... durch ...) Auseinandersetzung mit Phänomenen der Natur und Gesellschaft, (...) kulturellen Traditionen und der gegenwärtigen kulturellen Wirklichkeit" (KM 1993),

deutlich, warum es aus didaktischer Sicht wenig zweckmäßig erscheint, den verschiedenen Polen besondere Beachtung zu schenken und damit den Schwerpunkt entweder auf den *"Wissen konstruierenden Schüler"* (vgl. Schwerpunkte der Kernaussagen 1 und 2 (S. 54f), vgl. auch Ebene 1: Vorgänge im Individuum, Abb. 1-4, S. 4) oder die diesen Prozess *"beeinflussenden Umweltfaktoren"* zu legen (vgl. Schwerpunkte der Kernaussagen 3 und 4 (S. 58f), vgl. auch Ebene 2: Vorgänge zwischen Individuum und Umwelt, Abb. 1-5, S. 5).

Die Abbildung 3-15 (S. 93) verdeutlicht die angedeuteten Zusammenhang zwischen den Ebenen zur Effizienzsteigerung und den didaktischen Kernaussagen⁴⁰ des Konstruktivismus.

"Radikaler Konstruktivismus" versus "Sozialer (Systemischer) Konstruktivismus":

Wird der Konstruktivismus als Wissenschafts- und Erkenntnistheorie in der Form des radikalen Konstruktivismus verstanden bzw. postuliert (wie z. B. v. GLASERSFELD (1997) und von v. FOERSTER (1997)), so wird von seinen Vertretern hervorgehoben, dass jedes Individuum sich seine *unabhängige eigene* Welt aufgrund seines Erlebten konstruiert. Die Außenwelt, deren Existenz dabei nicht geleugnet wird, bleibt epistemologisch verborgen, wobei der Einfluss der *Sozialisation* bei der "Erfindung von Wirklichkeit" (v. FOERSTER 1993) nur eine *untergeordnete Rolle* spielt (vgl. Kernaussagen 1 und 2). Anders beim Konstruktivismus als "Paradigma in der Soziologie, Kognitionswissenschaft und Psychologie" (REINMANN, ROTHMEIER & MANDEL 1997). Hier wird nicht der Aspekt des "Individuellen", sondern des "Sozialen" (GLASSON & LALIL nach DUIT 1995), der *Aspekt der Beziehung und Interaktion* (REICH 1998) bei der Konstruktion von Wirklichkeit hervorgehoben (Kernaussagen 3 und 4). "Konstruktivismus findet in einer Lebenswelt, dabei in einer Kultur und in sozialen Verhältnissen statt, ist also immer sozialer Konstruktivismus." (REICH 1998). In Hinblick auf eine konstruktivistische Sichtweise in den Naturwissenschaftsdidaktiken argumentiert O' LAUGHLIN (nach DUIT 1995) aus dem Blickwinkel eines "sozio-kulturellen Modells des Lehrens und Lernens" in ähnlicher Richtung. "Er weist darauf hin, daß der radikale Konstruktivismus nicht in der Lage sei, die Kultur, die Machtstrukturen und die Diskurse im Klassenraum angemessen zu berücksichtigen.". "Sozialer Konstruktivismus" dagegen berücksichtigt diese soziale Gebundenheit von Wissenskonstruktion und stützt damit Argumente der sozialen Lerntheorie. Aus ihrer Perspektive "sind es nicht ausschließlich innere Kräfte oder ausschließlich Umweltreize, die menschliches (Wissen als Grundlage für (Anmerkung des Autors)) Verhalten bestimmen. Im Gegenteil: es ist eine ständige Wechselbeziehung individueller und um-

⁴⁰ Die Kernaussagen sind im folgenden Schema zur besseren Übersicht verkürzt wiedergegeben.

weltbestimmter Einflussgrößen, die menschliche Funktionsweisen im sozialen Kontext festlegt." (BANDURA 1977).

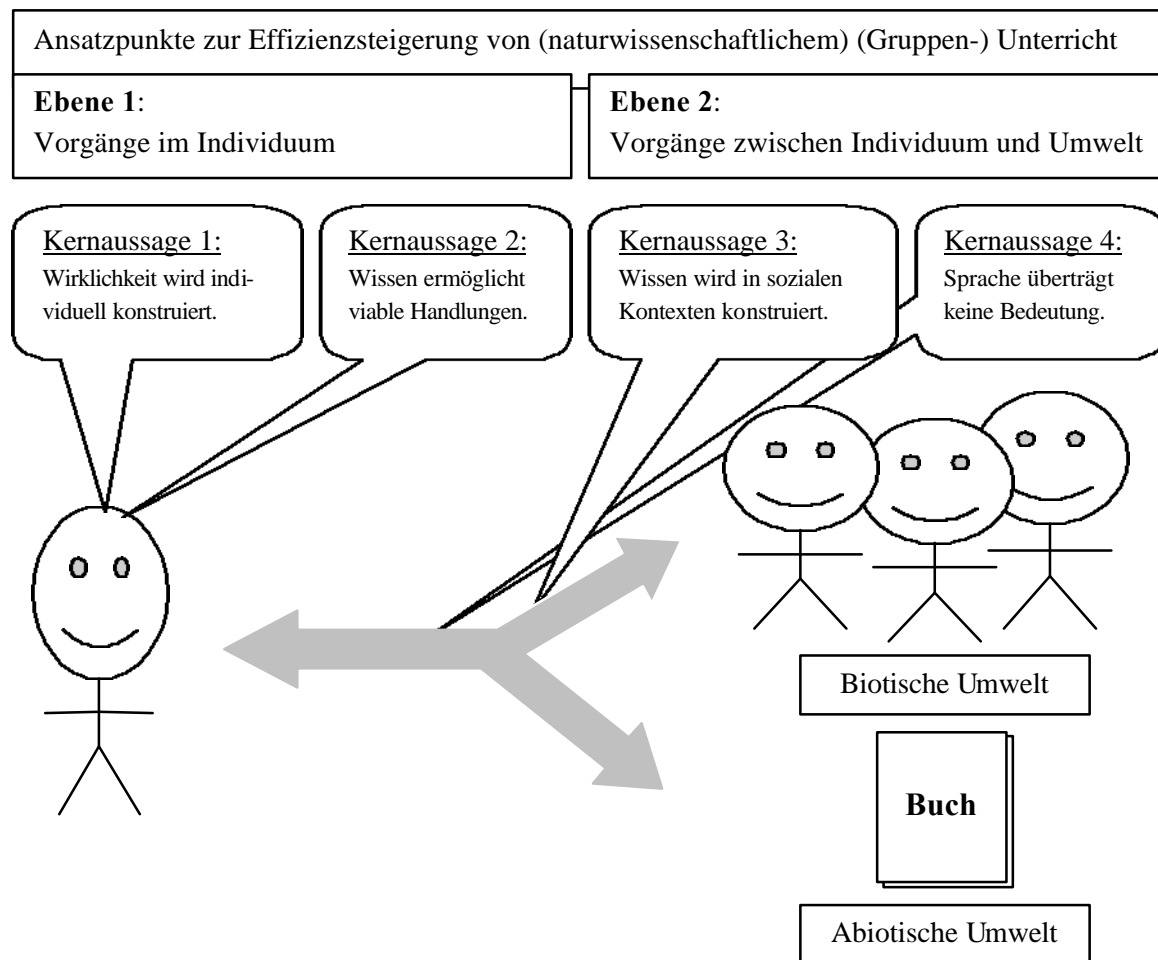


Abb. 3-15: Zusammenhang zwischen den Ebenen zur Effizienzsteigerung und den didaktischen Kernaussagen des Konstruktivismus

Einige Vertreter des "sozialen Konstruktivismus" erweitern nach SIEBERT (1999) diesen um eine makrosoziologische Beobachtungsperspektive: "Wir konstruieren unsere Wirklichkeiten nicht nur durch symbolische Interaktion in sozialen Bezugsgruppen, sondern auch in politisch-ökonomischen Verhältnissen, die durch Macht, Hierarchie, Partizipationschancen, Eigentum, Massenmedien und Ähnliches gekennzeichnet sind." Damit wird das weite Spektrum Sozialisation beeinflussender Faktoren, welches Einfluss auf die Gestalt unserer konstruierten Wirklichkeit hat, deutlich (vgl. Textbox).

"Vitamine sind Energie !" ?
 Ein erstaunlicher Beleg für die tiefgreifende sozialisierende Wirkung der Werbung in Massenmedien zu Fitness-Produkten scheint mit der Schülervorstellung "Mit Vitaminen wird dem Körper Energie zugeführt" vorzuliegen. Dieses aus fachwissenschaftlicher Sicht nicht haltbare "Wissen" wird insbesondere von SI-Schülern geteilt (vgl. Kap. 4).

Diese kritisch zusammenfassende Wertung zweier exemplarisch ausgewählter Pole der Konstruktivismusdebatte stützt die von GERSTENMAIER & MANDEL (1995) getroffene Aussage, dass es trotz zahlreicher Divergenzen einen tragfähigen Grundkonsens zu konstruktivistischen Auffassungen gibt und stärkt ihre Einschätzung, dass dieser Konsens, wenn als Perspektive ohne fundamentalen Geltungsanspruch verstanden, sich anbietet als "ein vielversprechender theoretischer Rahmen für eine Förderung von Prozessen des Wissenserwerbs in den unterschiedlichsten sozialen Kontexten".

Quintessenz für diese Arbeit:

Ein *pragmatisches moderates Konstruktivismusverständnis* ohne Schwerpunktlegung auf bestimmte Pole (vgl. MÜLLER 1996b; ROTH 1995), wie es sich in dieser Arbeit zur didaktischen Anwendung in den vier Kernaussagen widerspiegelt (vgl. S. 54ff), erscheint für Überlegungen zu schulischem Lehren und Lernen nützlich und ausreichend. Ein derartiges Konstruktivismusverständnis dient sowohl als theoretisch legitimierende Leitposition für Unterricht unter besonderer Beachtung von Schülervorstellungen (methodischer Ansatz) als auch als Anlass, Inhalte und Ziele von Unterricht (im Rahmen der Arbeit in Hinblick auf den Themenbereich "Energie im biologischen Kontext", inhaltlicher Ansatz) zu hinterfragen und neu zu bestimmen.

Pragmatisch-konstruktivistischer Unterricht auf der Basis von Schülervorstellungen ist ein handlungs-, problem- und damit schülerorientierter Unterricht.

Ein pragmatisch-konstruktivistischer Unterricht ist nicht die Umsetzung einer unabhängigen neuen Konzeption zur Planung und Durchführung von Unterricht. Vielmehr fußt ein solcher Unterricht auf bekannten und bewährten Leitlinien zur praktischen Unterrichtsgestaltung (vgl. Textbox).

STAECK (1995) nennt hierzu mit Bezug auf den Rahmenplan Brandenburgs für Biologieunterricht acht solcher Leitlinien: Handlungsorientierung, Problemorientierung, Schülerorientierung, Ganzheitlichkeit, Exemplarität, Wissenschaftsbezug, Offenheit und Differenzierung. Alle Leitlinien finden sich auch im konstruktivistischen Unterricht, wobei durch die besondere Beachtung der Schülervorstellungen ein "neuer", die bekannten Ansätze verknüpfender Schwerpunkt gelegt wird.

"Interessant und innovativ ist jedoch (...), daß konstruktivistisches Denken als metatheoretisches Konzept viele (...) pädagogische Konzepte miteinander verbindet und Orientierungen der Weiterentwicklung aufzeigen kann." (WERNING 1998).

Exemplarisch für die drei Leitlinien Handlungsorientierung, Problemorientierung und Differenzierung wird die Verbindung zum konstruktivistischen Ansatz skizziert:

Handlungsorientierung

Konstruktivistischer Unterricht stellt den Schüler und seine Wahrnehmungen ins Zentrum aller Überlegungen. Da die Wahrnehmungen der Schüler höchst individuell und abhängig von der Situation sind und zudem die Entwicklung der Wissensstruktur bei Schülern als konservativ zu charakterisieren ist (vgl. Kap. 3.1.3.6, S. 79), muss konstruktivistischer Unterricht so gestaltet sein, dass er den Lernenden die Möglichkeit eröffnet, intensiv Handlungsziele nach eigenen, gerade aktivierten kognitiven Schemata zu verfolgen (FISCHER 1990). Konstruktivistischer Unterricht lehnt hier an Konzepten handlungsorientierten Unterrichts (MEYER 1993) an.

Problemorientierung

Konstruktivistischer Unterricht stimmt, wenn zwischen vorunterrichtlichen Schülervorstellungen und wissenschaftlichen Vorstellungen ein Konflikt initiiert werden soll, in wesentlichen Grundzügen mit den Methoden und Zielen eines problemzentrierten Unterrichts überein (vgl. BUCK 1999;

ELLENBERGER 1993). Die Phase der Hypothesenbildung und Hypothesenprüfung ist dabei mit der Initiierung kognitiver Konflikte von ihrer Bedeutung für den Unterrichtsablauf vergleichbar. Der (aus Sicht eines Praktikers unwesentliche und aus der Sicht eines Unterrichtstheoretikers womöglich wesentliche) Unterschied besteht darin, dass in der Literatur zum problemzentrierten Unterricht die vorunterrichtlichen Schülervorstellungen bei der Planung und Durchführung solcher Lernabläufe nicht explizit berücksichtigt werden.

Differenzierung

Ein konstruktivistischer Unterricht, der den DIESTERWEGSchen Standpunkt aufgreift und die Vorkenntnisse der Schüler in den Mittelpunkt seiner Bemühungen stellt, muss aufgrund der Individualität der Vorstellungen zwangsläufig innere Differenzierung aufweisen. Dies gilt sowohl für die Unterrichtsverfahren (z.B. wenn Schüler in Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit gemäß ihren Vorstellungen an unterschiedlichen Konfliktsituationen arbeiten) als auch für die Bestimmung der Unterrichtsinhalte (z.B. bei der Auswahl der Anspruchsniveaus in Hinblick auf den Kenntnisstand und lernbeeinflussende Faktoren der Schülerpersönlichkeit).

Diese Erläuterungen verdeutlichen, dass der in dieser Arbeit vertretene pragmatisch-konstruktivistische Unterrichtsstil versucht, eine Symbiose zwischen lehrerzentrierter Instruktionspädagogik und einer lernerzentrierten Konstruktionspädagogik herzustellen.

Konstruktivistische Auffassungen beeinflussen die in der Didaktik eines Faches diskutierten Inhalte und Methoden von Unterricht.

Didaktik wird im umfassenden Sinne als die Lehre vom Lehren und Lernen, als "die wissenschaftliche Reflexion des Lehrens und Lernens" bezeichnet (LENZEN 1989); Konstruktivismus bezeichnet eine Theorie über Wissen, die, wenn als Erkenntnistheorie verstanden, über die Möglichkeiten, Grenzen und Funktionen menschlichen Erkennens Aussagen trifft.

Aus konstruktivistischer Sicht müsste Didaktik

- A) als die Lehre von den inhaltlichen und methodischen Unterstützungsmöglichkeiten des Lehrens und Lernens
- B) zum Erreichen eines durch Nachhaltigkeit und Verantwortung charakterisierten viablen Wissens bezeichnet werden.

Zu A):

In den Blickpunkt des pädagogischen Interesses rückt damit nicht die "Wissensvermittlung" im Sinne von "Übergabe von Wissen", sondern vielmehr die methodische und inhaltliche Gestaltung konstruktiver Lernumgebungen. Dabei soll und kann es nicht um die in aktuellen Diskussionen zur schulischen Bildung zuweilen angeschnittene "Alternative" "Handlungsorientiert, Ganzheitlichkeit kontra Fachwissen" gehen, die BERCK (1997) pointiert zusammenfasst "Wir vernetzen ganzheitlich alles, wissen aber fast nichts, macht nix.". Auch geht es nicht um die "Alternative" "Konstruktivismus versus Pauken". Schule und Unterricht sollen natürlich nicht zu einem "Happening" werden, bei dem "kaum gelernt werden kann", weil die Autopoiese und Emergenz der Schüler methodisch nicht umgangen werden kann - oder wie GERBERT (1998) im FOCUS provokant for-

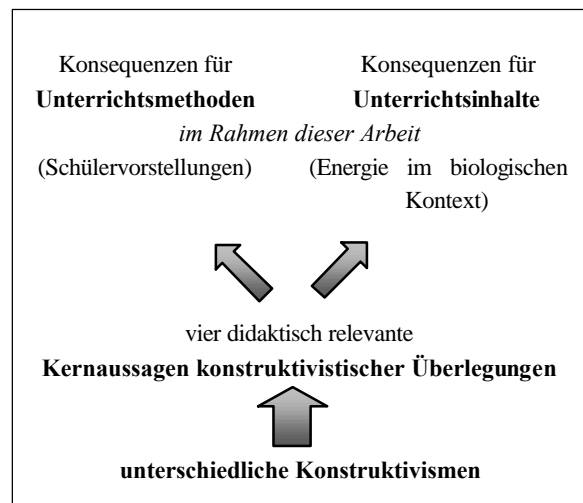
muliert: "Ich bin dumm - und stolz darauf. Wissenschaftliche Außenseiter - die "radikalen Konstruktivistischen" - unterwandern die Schulen. Ihr Programm: Psycho-Spiele statt Bildung"⁴¹. Konstruktivistische Ideen sollen vielmehr beim konkreten Unterrichten helfen, das von Jung (vgl. Textbox) skizzierte "Problematische am Lernen von Neuem" nicht zu einem erkannten aber ungelösten Problem in der schulischen Bildung werden zu lassen. Der Konstruktivismus legt dabei "nicht unbedingt eine neue Methode des Lehrens nahe" (SIEBERT 1999, vgl. auch BERCK 1999; HOOPS 1998; KLEIN & OETTINGER 2000), sondern regt durch eine andere "Betonung und Bewertung unterrichtlicher Prozesse" (z.B. das Äußern von Schülervorstellungen stets als wertvollen Unterrichtsbeitrag zu werten, weitere Aspekte vgl. Kap. 5) zu einer neuen Sichtweise gruppenbezogener Lehr-Lernbemühungen in der Schule an⁴².

JUNG (1997) formulierte "aner kennend" in einer kritischen Stellungnahme zur Rolle der Konstruktivismusdebatte für die Didaktik der naturwissenschaftlichen Fächer: "Man mag es als Verdienst des Konstruktivismus ansehen, daß er das Problematische am Lernen von Neuem wieder stärker in den Vordergrund gerückt hat."

Zu B):

Weiterhin entbinden die konstruktivistischen Aussagen zu den Grenzen unserer Erkenntnis und zu der Vorläufigkeit und Beobachtungsabhängigkeit unseres Wissens nicht von der Verantwortung im Umgang mit unserer abiotischen und biotischen Umwelt. Auch wenn z.B. Energieverschwendung ein "Konstrukt" ist, so sind wir verpflichtet, das "viable Wissen" zu suchen, davon für Handlungsdispositionen relevant erscheinendes Wissen anzueignen und entsprechend anzuwenden, um somit die negativen Folgen unseres Handelns für folgende Generationen zu minimieren.

Aussagen konstruktivistischer Didaktiker wie die von DUFFY & JONASSEN (1992) "There are many ways to structure the world, and there are many meanings or perspectives for any event or concept. Thus there is not a correct meaning that we are to strive for." können u.a. aus Sicht eines Schulpraktikers nur als wenig hilfreicher Gedankengang einer überspitzten Konstruktivismusdiskussion bewertet werden.



Die nächsten zwei Abschnitte stellen die methodischen und inhaltlichen Konsequenzen zur Planung und Durchführung von Unterricht auf der Basis eines moderaten Konstruktivismusverständnisses vor (vgl. Textbox).

⁴¹ Ausführliche Kritiken zu "radikal" verstandenen Konsequenzen konstruktivistischen Gedankenguts für Unterricht finden sich u.a. bei JUNG (1997), NÜSE (1995) und HOOPS (1998), der sich insbesondere mit der Diskussion des radikalen Konstruktivismus in den USA auseinandersetzt.

⁴² Solche Bemühungen, konstruktivistisches Gedankengut fruchtbar in die Gestaltung von Schulunterricht einzubringen, sind nicht neu. Schon 1987 machte NOVAK (1987) unter dem Stichwort "human constructivism" darauf aufmerksam, dass es wichtig sei, die Theorien zum menschlichen kognitiven Lernen mit den Vorstellungen der Erkenntnistheorie zu verbinden.

Methodische Konsequenzen zur Unterrichtsgestaltung

Die nachfolgende Auflistung gibt gegliedert nach den vier Kernaussagen zum Konstruktivismus (vgl. Kap. 3.1.2, S. 51ff) zunächst einen Überblick hauptsächlich über methodische Aspekte der Unterrichtsgestaltung. Die aufgezeigten Konsequenzen gelten generell bei der Berücksichtigung von Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" im Unterricht. Die folgenden Aussagen sind jedoch nicht speziell auf das Thema "Energie im biologischen Kontext" ausgerichtet, da sie sowohl schulstufenunspezifisch, als auch unabhängig vom zu vermittelnden Unterrichtsinhalt sind und damit grundlegende Gültigkeit besitzen (vgl. auch BROOKS & BROOKS 1993). Welche Schlussfolgerungen die Konsequenzen für die konkrete unterrichtliche Umsetzung haben (Planung und Durchführung einzelner Unterrichtsphasen bzw. einzelner Unterrichtseinheiten unter besonderer Berücksichtigung von Schülervorstellungen), kann nur in Bezug auf eine bekannte Lerngruppe und ein eingegrenztes Thema sinnvoll diskutiert werden. Nur so ist eine begründete Auswahl aus einer Vielzahl unterschiedlichster Ansätze möglich, die die aus konstruktivistischen Überlegungen heraus aufgestellten Forderungen an die Lernumgebung umzusetzen versuchen. Die Zuordnung der Konsequenzen zur Unterrichtsgestaltung zu den vier Kernaussagen ist wegen der inhaltlichen Nähe der Kernaussagen nicht überschneidungsfrei.

Kernaussage 1: Wirklichkeit wird von autopoietisch und selbstreferentiell agierenden Menschen emergent konstruiert.

Grundlegende Konsequenzen dieser Kernaussage für Lehr- Lernprozesse sind:

- Ergebnisse der Lehr- Lernprozesse sind inhaltlich und zeitlich *nicht voraussagbar*. Jeder Lernende interpretiert seine Wahrnehmungen auf Grundlage seiner individuellen Erfahrungen und besitzt demnach ein subjektives Problembewusstsein, d.h., Inhalte des Unterrichts werden unterschiedlich verarbeitet und führen deshalb zu unterschiedlichen Problemen und unterschiedlichen individuellen Lösungen. "Überraschungen" und "ungewollte Nebenwirkungen" müssen im Unterricht (insbesondere vom Lehrer) als Normalität verstanden werden.
- Das Lernen des Schülers kann *nicht determiniert, sondern nur perturbiert* werden. Lehr- Lernprozesse stellen "orientierende Rahmenbedingungen" zur individuellen Wissenskonstruktion dar (AUFSCHNAITER 1992) und sind demnach nur der Versuch, Schüler bei der "begrifflichen Organisation von Erfahrungsbereichen" (vgl. v. GLASERSFELD 1996) (Wissenserwerb) lenkend zu unterstützen. Unterricht muss Konstruktion anregen und ermöglichen, er kann aber nicht zum Lernen zwingen ("Belehrungsdidaktik" versus "Animationsdidaktik", vgl. VOSS 1996).
- Bedeutung ist nicht vermittelbar - was den einen berührt, ist für den anderen gleichgültig. Deshalb ist der Erfolg von Unterricht wesentlich von der intrinsischen *Motivation* der Lernenden und von ihren *Vorerfahrungen abhängig*.
- Lehrer müssen sich bewusst sein, dass auch Schüler "Konstrukte" der Lehrer sind. Die Reflexion ihrer eigenen Beobachtungen (z.B. bei Bewertungen von Schülerleistungen oder bei der Einschätzung des Unterrichtsniveaus) ist deshalb hervorzuheben.

Kernaussage 2: Wissen ist eine kognitive Leistung des Subjekts und ermöglicht viable Dispositionen zum Überleben.

Grundlegende Konsequenzen dieser Kernaussage für Lehr- Lernprozesse sind:

- Der *Respekt* des Lehrers vor vorunterrichtlich geleisteten Wissenskonstruktionen der Schüler (Schülvorstellungen) und eine Bezugnahme auf diese im Unterricht ist *lernfördernd*.
- Die *ingeschränkte Erklärungsmächtigkeit* vorunterrichtlicher (alltagsweltlicher) Vorstellungen muss den Lernenden *bewusst* werden, *Informationen* müssen für Lernende also *bedeutsam* sein, da Schüler sonst keinen Anlass sehen, Vorstellungen zu verändern, die sich als stabile (viable) Orientierung in Belangen des täglichen Lebens erwiesen haben. Es muss dem Schüler lohnenswert scheinen, Arbeit für die Veränderung bzw. Neukonstruktion von viableren Dispositionen zum Überleben (weil z.B. kontextflexibler anwendbar) zu investieren. Lernen bedeutet deshalb auch in Hinblick auf Bedeutsamkeit von Informationen, die Aufmerksamkeit auf Übersehenes oder Vernachlässigtes in der Alltagswelt zu lenken.
- Schüler leisten eine Wissenskonstruktion (Assimilationsprozess), wenn für sie eine *produktive Diskrepanz* zwischen Erwartung und aktueller Wahrnehmung besteht. Bei zu großer Diskrepanz fehlt ihnen die Motivation zur Äquilibration. Die produktive Diskrepanz ist nicht exakt bestimmbar, da auch die Erwartungen individuelle Konstrukte sind (vgl. Kernaussage 1). Eine Annäherung an die Diskrepanz ist Lehrern und Schülern durch einen Wechsel der Beobachterperspektive möglich, da sie so Informationen erhalten, wie andere ihre viable Wirklichkeit konstruieren (vgl. MIETZEL 1998 sowie Erläuterungen in Kap. 3.1.4.6).
- Die Konstruktion von Wissen als Leistung zu verstehen, bedeutet anzuerkennen, dass dieser Prozess *Zeit kostet* (in Anlehnung an ROWE 1986 und ARNOLD & KEMPKES 1998).
- Wissen soll von Schülern und Lehrern als etwas grundsätzlich *nicht Statisches* behandelt/aufgefasst werden, damit nötige Veränderungen zu viablerem Wissen weniger durch tradierte Strukturen behindert werden. POSTMAN (1997) kritisiert: "Lehrbücher vermitteln nur Gewissheiten, keine Ansätze von Zweifel, (...)". DUIT & HÄUBLER (1996) stellen fest: "Die meisten Schüler, aber auch viele Lehrer scheinen "naive Realisten" in dem Sinne zu sein, als sie naturwissenschaftliches Wissen als getreue Kopie der Realität und nicht als (vorläufige) menschliche Konstruktion ansehen."
- Bei möglichst komplexen Wirklichkeitserfahrungen im Unterricht fällt dem Lehrer die Aufgabe zu, "eine ebenso stützende wie fordernde Rolle einzunehmen, um das *Vertrauen* des Lernenden in seine Fähigkeit, komplexe, widersprüchliche Realität affektiv wie kognitiv bewältigen zu können, zu *stärken*." (RICHTER 1996).
- Standardisierte Wissensabfragen zur Lernkontrolle und Bewertung eignen sich nur bei stabilen Interaktionsverfahren (Vokabellernen). Wissenskonstruktion kann durch *individuelle Lernfortschrittsbeschreibungen* beurteilt werden.

Kernaussage 3: Erfahrungen und Wissen sind Resultate von sozialen Interaktionen.

Grundlegende Konsequenzen dieser Kernaussage für Lehr-Lernprozesse sind:

- Der Erfolg von Lehr-Lernprozessen hängt v.a. von der Qualität der *unterrichtlichen Kommunikation* ab. Zum Unterrichten ist für Lehrer deshalb weniger die fachliche Komplexitätsreduktion, sondern mehr die individuelle Situationsdeutung der Lernprozesse der einzelnen Schüler entscheidend. Die pädagogische Schlüsselqualifikation ist dabei die Fähigkeit und Bereitschaft,

die *Lernwege und Lernschwierigkeiten der Schüler "nachvollziehen"* zu können. Lehrer müssen soziale Situationen schaffen, "in denen von- und miteinander gelernt wird" (SIEBERT 1999). Die Ausdrücke "Falsch" und "Richtig" erscheinen in Hinblick auf ein von gegenseitiger Akzeptanz geprägtes Gruppenklima bei der Bewertung von Schüleraussagen als unangebracht und sind für ein erleichtertes Austauschen und Bearbeiten unterschiedlicher Deutungsmuster kontraproduktiv (ARNOLD & KEMPKE 1998).

- Bei Lehr-Lernprozessen muss vom Lehrer die innere *Hierarchie von Lerngruppen* beachtet werden, damit die "wissenschaftliche" Erklärungsmächtigkeit von Wissenskonstrukten (z.B. Fachbegriffen) und nicht die Stellung von Schülern in ihrer Gruppe perturbierend wirkt: Available fachliche Aussagen des Klassenbesten sollen sich nicht wegen seiner Stellung als "sozial viabel" durchsetzen (Machtposition vgl. BEGER & LUCKMANN (1969): Man wird anerkannt, wenn man die Position eines "mächtigen" Schülers in der Klasse einnimmt).

Kernaussage 4: Sprache stellt Kommunikation her, ist eine Voraussetzung zum Aufbau stabiler Wirklichkeit, übermittelt aber keinen Sinn und keine Bedeutung.

Grundlegende Konsequenzen dieser Kernaussage für Lehr-Lernprozesse sind:

- Im Unterricht können nicht die Erkenntnisse selbst, sondern lediglich die Verfahren zum Erwerb eigener Erkenntnisstrukturen transferiert werden.
- Der Unterrichtssprache kommt eine große Bedeutung zu, da sie den Schülern u.a. Ergebnisse und Erkenntnisse der Wissenschaft erklären soll, die das alltägliche Leben stark beeinflussen, die aber *aufgrund von primären Erfahrungen nicht verständlich* sind (SPANHEL 1980). Die *Bedeutung* von Begriffen kann dabei im Unterricht nicht übertragen, sondern nur *"ausgehandelt"*⁴³ werden. Dieser sprachlichen Kommunikation ist deshalb im Unterricht besondere Beachtung zu schenken (vgl. Kernaussage 1 (S. 54) und Erläuterungen auf S. 105f). Statt z.B. eine Schüleräußerung mit "das ist falsch" zu beurteilen, ist es sinnvoller zu fragen, wie er auf diese Lösung gekommen sei. Hierdurch können evtl. *verdeckt gebliebene Vorstellungsinhalte aufgedeckt* werden. Allgemein erscheinen reflexive Methoden wie z.B. mind map, Collagen oder Metakommunikation angemessen (vgl. WATTS 1997).
- *Begriffe mit mehrfacher Bedeutung (wie der Energiebegriff) beeinflussen den Erfolg von Lehr-Lernprozessen:* "Termini können durch das Mitschwingen ihrer umgangssprachlichen Bedeutung auf das Gelernte einen stärkeren Einfluß haben als das mit dem Begriffsinhalt Gemeinte." (KATTMANN 1991).
- Die Möglichkeiten, z.B. vor und während des Unterrichts Vorstellungen zu ermitteln bzw. den Lernfortschritt zu untersuchen (z.B. bei begleitenden Übungsaufgaben oder Tests am Ende einer Einheit), sind nur indirekt gegeben, da der Beobachtende (z.B. der Lehrer) sich nur seine *Vorstellung von der Vorstellung* des Beobachteten (z.B. Schüler) machen kann. *Beurteilungen von Schüleräußerungen jeglicher Art sind ausschließlich subjektiv.*

Methodische und inhaltliche Überlegungen greifen bei der Unterrichtsgestaltung ineinander. Deshalb finden sich in der obigen Auflistung der hauptsächlich methodischen Konsequenzen kon-

⁴³ Die End-Bedeutung eines Begriffes ist "fest" - von "aushandeln" wird insofern gesprochen, als der Weg zur Begriffsbedeutung und die Nähe, die zu ihr erreicht wird, offen sind.

struktivistischer Überlegungen auch Aspekte, die an der Inhalts- und Zielbestimmung von institutionalisierter Bildung ansetzen. Derartige Überlegungen werden nachfolgend weiter ausgeführt.

Inhaltliche Konsequenzen zur Unterrichtsgestaltung

Der Einfluss konstruktivistischer Gedankengänge auf Unterrichtsinhalte wird exemplarisch anhand von Aussagen von v. FOERSTER (1993) und SIEBERT (1999) aufgezeigt. Durch die Anwendung der konstruktivistischen Forderungen auf den Themenbereich "Energie" wird verdeutlicht, in welche Richtung die Unterrichtsinhalte entwickelt werden können. Eine Fortführung dieser Gedankengänge erfolgt in Kapitel 5.

Von FOERSTER argumentiert bei seiner Zuordnung des Menschen zu nicht-trivialen Maschinen (vgl. Kernaussage 1) in Hinblick auf inhaltliche Konsequenzen: Unterrichten als Belehrungsversuch behandelt Schüler wie triviale Maschinen und engt ihren Handlungsspielraum ein. "Der Großteil unserer institutionalisierten Erziehungsbemühungen hat zum Ziel, unsere Kinder zu trivialisieren⁴⁴ (...) Da unser Erziehungssystem daraufhin angelegt ist, berechenbare Staatsbürger zu erzeugen, besteht sein Zweck darin, alle jene ärgerlichen inneren Zustände auszuschalten, die Unberechenbarkeit und Kreativität ermöglichen.". Von FOERSTERS Aufruf zur Bildung lautet stattdessen deshalb, so zu unterrichten, so zu handeln, dass weitere Möglichkeiten entstehen bzw. offen bleiben. Auf den Energieaspekt angewandt könnte seine Schlussfolgerung heißen: Lege dich nicht auf die Nutzung z.B. bestimmter fossiler Energiequellen fest, da jede Festlegung und Einengung Handlungsmöglichkeiten reduziert und damit Zukunftschancen verringert. MÜLLER (1996a) fasst die weiteren Überlegungen v. FOERSTERS zusammen: „Erziehe deine Lerner so, daß sie die Vielfalt möglicher Wirklichkeiten erkennen und die Fähigkeit zur verantwortlichen Auswahl und Konstruktion der momentan passendsten entwickeln. (...) Ein konstruktivistisches Lernziel (...) besteht also darin, die Verantwortung für das eigene Handeln in Hinblick auf seine "wirklichkeitskonstitutive" Kraft zu übernehmen und zu erkennen, daß der "Erfinder" einer Wirklichkeit verantwortlich ist für seine Erfindung.".

SIEBERT formuliert in Hinblick auf den "Kanon von Bildungsinhalten" in seiner Bilanz der Konstruktivismusdiskussion für die Bildungspraxis: "Der Konstruktivismus bewertet die Pluralität der Wirklichkeitskonstrukte als Befreiung von dogmatischen Wahrheitsansprüchen und als Chance einer offenen multikulturellen Gesellschaft. (...) Bildung ist so gesehen eine (konstruktivistische) Haltung, die Urteilsvorsicht, Toleranz und intellektuelle Bescheidenheit nahe legt.". Mit Blick auf die Zukunft und der seit der Umweltkonferenz in Rio de Janeiro (1992) vermehrt in die Diskussion geratene "Nachhaltigkeit" der menschlichen Konstrukte, der Leitbilder und Lebensstile schlägt Siebert vor, den konstruktivistischen Begriff der Viabilität, den ökologischen Begriff der Nachhaltigkeit und den aufklärerischen Begriff der Vernunft komplementär zu verwenden. Diese Überlegungen können als perspektivische Ergänzung zu den in Kapitel 2.2.1 (S. 29ff) angeführten Argumenten zur Legitimation der vermehrten Berücksichtigung des Energieaspekts (und damit zur Inhalts- und Zielbestimmung für Biologieunterricht) herangezogen werden: Die inhaltliche Ent-

⁴⁴ Folgendes Beispiel verdeutlicht diesen Zusammenhang: Die vorschriftsmäßige Antwort auf die Frage "Wieviel sind 2×3 ?" lautet "6". In diesem Fall sind Antworten wie " 3×2 ", "eine gerade Zahl" und andere unannehmbar. Die vorgesehene Antwort trivialisiert aber das Problem. Sie wurde jedoch als einzige erwartet und wird deshalb auch belohnt. Trivialisierung bedeutet hier also "Amputation interner Zustände, Blockierung der Entwicklung unabhängigen Denkens und Belohnung von vorschriftsmäßigem, also voraussagbarem Verhalten". Dieses Beispiel lässt sich in Hinblick auf die Schulsituation verallgemeinern. Die Tatsache, daß Erwartungshorizonte formuliert werden, verbalisiert zutreffend, daß häufig nur ein bestimmtes Verhalten "erwartet" wird. Dies ist problematisch: Wenn tatsächlich nur ein bestimmtes Verhalten erwartet wird, dann beziehen sich die Resultate nicht auf die Flexibilität des Prüflings, sondern zeigen nur, wie gut und genau er auswendig gelernt hat. Von FOERSTER bezeichnet diese Fragen deshalb als "illegitim", sie prüften im Grunde den Prüfer und nicht den Kandidaten (vgl. v. FOERSTER 1993b).

scheidung, im Unterricht vermehrt Energieaspekte zu berücksichtigen, kann bei alltäglichen Entscheidungen bezüglich des eigenen Handelns eine pragmatische, brauchbare, bewährte - eben viable - Orientierungshilfe sein (z. B. beim Kauf energiesparender Produkte). Eine Orientierungshilfe, die gleichzeitig den Aspekt der Nachhaltigkeit im Sinne der Ausführungen der Agenda 21 (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) sowie den Aspekt der Vernunft, nämlich die Verantwortung des Menschen für das "Gemeinwohl", umfasst.

Warum das Thema "Energie im biologischen Kontext" konstruktivistisch unterrichten?

"Methoden und Prinzipien des Lehrens, die aus der konstruktivistischen Auffassung stammen, haben das Potential, aktive, konstruktive, selbstgesteuerte, situative Lernprozesse zu fördern und zu unterstützen. (...) Allerdings entfalten konstruktivistische Verfahren nicht bei allen Lernenden, allen Lerninhalten und Lernzielen dieses grundsätzliche Potential." (REINMANN-ROTHMEIER & MANDEL 1997). Doch gerade für den Themenbereich "Energie im biologischen Kontext" - und hier speziell im ökologischen Kontext - erscheint die konstruktivistische Art der Unterrichtsgestaltung förderlich, denn:

- Energie ist abstrakt. Die Schlussfolgerung, dass Schüler deshalb zu diesem Themenbereich keine oder nur wenige Vorstellungen besitzen und deshalb auch keine konstruktivistische Unterrichtsgestaltung anzuwenden sei, die das Vorwissen der Lernenden und ihre individuellen Wirklichkeitskonstrukte in den Vordergrund rückt, trifft nicht zu. Da Energie in vielen Bereichen des wissenschaftlichen und alltäglichen Lebens ein Begriff ist (vgl. Kap 2.2.1, S. 10) und jeder deshalb meint, ungefähr zu wissen, was Energie sei (LJUNSE 1990), gibt es sehr wohl - wie im Rahmen dieser Arbeit für den Bereich der Biologie deutlich gezeigt - eine Fülle von Vorstellungen, die es nach Aussagen der Wissenspsychologie (vgl. Kap. 3.1.3, S. 61) für den Aufbau eines verständnisreichen Wissens zu beachten gilt. Ein konstruktivistischer Unterricht hat die Möglichkeit, Anreize zu geben, diesen zentralen Begriff der Naturwissenschaft (vgl. Kap. 2.1) für Schüler verständlich zu machen.
- Die Bedeutung des Energiebegriffs wird während der Sozialisation für einen Menschen zu verschiedenen Zeiten und in verschiedenen Kontexten ausgehandelt (vgl. Kernaussage 3, S. 58): Jugendliche werden durch bestimmte Produkte und Aktivitäten über die Werbung zum Lockern ihrer Energiereserven aufgefordert, Erwachsene z.B. kaufen Geräte nach Energieeffizienzklassen, bauen ein Energiesparhaus, diskutieren im Rahmen der Agenda über nachhaltige Energieversorgung. Ein Bauer, dessen Pflanzen nicht gedeihen und der sie mit Dünger behandelt, wird eine andere Vorstellung von der Energie der Pflanzen zum Wachsen haben als ein Biologe, der sich mit den biochemischen Abläufen der Photosynthese beschäftigt. Ein Kind, dessen Batterie im Spielzeug "verbraucht" ist, wird eine andere Vorstellung von der Energieerhaltung haben als ein Physiker bei der Berechnung der Rotverschiebung des Universums. Gerade diese an den Beispielen aufgezeigte enge Beziehung zwischen Begriffsinhalt und Aspekten der Sozialisation eines Menschen legt das Beachten konstruktivistischer Überlegungen nahe; denn besonders Unterricht aus konstruktivistischer Sicht setzt seinen Schwerpunkt auf individuelle, vom sozialen Kontext abhängige Wirklichkeitskonstrukte. Das Problematisieren von Wirklichkeitskonstruktionen in einem solchen Unterricht ist eine grundlegende Voraussetzung, um eine verständnisreiche Verknüpfung der naturwissenschaftlichen Vorstellungen zu Energie im Netz der zuvor gemachten Alltagserfahrungen zu ermöglichen.

3.2.2 Ausgangssituation und Ziele sowie grundlegende Voraussetzungen und Strategien der Unterrichtsgestaltung in Hinblick auf Schülervorstellungen und deren Änderung im Unterricht

Die bereits von DIESTERWEG vor über 150 Jahren veröffentlichte aus der Unterrichtspraxis erwachsene Erfahrung, dass ohne eine Kenntnis über das bereits vorhandene Wissen des Schülers kein vernünftiger Unterricht möglich ist, wurde im Zusammenhang mit der aktuellen Diskussion über die Rolle der Vorstellungen im konstruktivistisch verstandenen Schulunterricht - insbesondere der Naturwissenschaften - in vielen Veröffentlichungen aufgegriffen und zu "Strategien" weiterentwickelt, die eine gezielte Veränderung der Schülervorstellungen möglich und wahrscheinlich machen⁴⁵. Diese Strategien setzen einen Gegenpol zur Methode, die verfügbaren Schülervorstellungen während des Unterrichts zu ignorieren oder durch bloße mündliche Äußerungen wie "Nein, das ist falsch." abzuqualifizieren.

Ausgangssituation in Hinblick auf Schülervorstellungen im Schulunterricht

Die bisherigen Untersuchungen zu Schülervorstellungen (einschließlich die der vorliegenden Arbeit sowie die Untersuchungen aus der AG "Schülervorstellungen im Biologieunterricht" (vgl. S. 203), die von Frau Prof. Dr. Gerhardt an der Fakultät für Biologie & Didaktik der Biologie, Universität Bielefeld, betreut wurden) charakterisieren die im Schulalltag anzutreffende Ausgangssituation in Hinblick auf (vorunterrichtliche) Schülervorstellungen wie folgt:

- Schüler besitzen zu vielen Themen, die im Schulunterricht behandelt werden, ein weites Spektrum vorunterrichtlicher Vorstellungen (Überblick zu diesbezüglichen Veröffentlichungen in PFUNDT & DUIT 1994, 2000).
- Vorstellungen wirken auch dann, wenn sie nicht von Schülern geäußert werden. Schüler sind sich oftmals der Vorstellungen, die sie zur Interpretation und Erklärung einer Wahrnehmung aktivieren, nicht bewusst (vgl. SMITH et al. 1993).
- Vorstellungen sind Ursache für Missverständnisse, beeinflussen das Handeln beim Problemlösen und die Beobachtung beim Experimentieren.
- Die individuellen Vorstellungen eines Schülers sind seinem Lehrer und seinen Mitschülern zumeist unbekannt.
- Mit zunehmendem Alter sind die vorunterrichtlichen Schülervorstellungen vermehrt mit abstrakten wissenschaftlichen Elementen (z.B. Fachbegriffen) angereichert (vgl. GERHARDT & PIEPENBROCK 1992; GERHARDT, RASCHE & RUSCHE 1993).
- Vorunterrichtliche Vorstellungen sind oftmals tief verwurzelte Überzeugungen (DUIT 1993). Die Verwurzelung ergibt sich zu einem großen Teil durch zufällige Assoziationen, durch nicht unbedingt logisch nachvollziehbare Beziehungen zu anderen Bereichen des Wissens (SCHAEFER 1993). Die tiefe Verwurzelung kann dazu führen, dass Schüler zwar die wissenschaftliche Denkweise verstehen und auch anwenden können, aber dennoch diese Sichtweise nicht für wahr halten.
- Schüler erkennen oftmals zum einen nicht die Widersprüche zwischen ihren vorunterrichtlichen Vorstellungen und den im Unterricht vermittelten wissenschaftlichen Konzepten und zum anderen nicht den Nutzen, den sie aus der Übernahme des neuen wissenschaftlichen Konzepts ziehen könnten (POSNER et al. 1982).

⁴⁵ Die Formulierung "möglich und wahrscheinlich" ist notwendig, da Lernprozesse nicht erzwungen werden können.

- Das Anknüpfen an vorunterrichtliche Vorstellungen in einem (handlungs-) aktiven Lehr-Lernprozess wird von einigen Schülern als anstrengend und damit unbeliebt abgewertet. Das Interesse für eine Vorstellungsänderung hin zu einem kontextflexiblen und erklärungs-mächtigen wissenschaftlichen Wissen ist gering oder fehlt ganz.
- Das Aufgeben von Vorstellungen, die sich im bisherigen Leben als viabel erwiesen haben, ist mit Unbehagen verbunden: Einerseits, weil die Aufgabe einer vertrauten, im Alltag funktionsstüchtigen Vorstellung gegen eine "angeblich" ausschließlich zunächst laut Unterrichtserfahrungen bessere Vorstellung mit Unsicherheiten verbunden ist, andererseits, weil das Aufgeben einer alten Vorstellung das Eingeständnis bedeutet, womöglich Jahre lang etwas Falsches gedacht zu haben. Aus diesen Überlegungen heraus sind oft Widerstände gegenüber konzeptuellen Veränderungen bis hin zu Abwehrmaßnahmen, wie etwa das Leugnen neuer Informationen (Schülerzitat: "Ich glaube nicht, dass das Messinstrument richtig misst."), die Folge (VOSNIADOU 1988).
- Schüler neigen (aufgrund der genannten Punkte) allgemein dazu, an ihren vorunterrichtlichen Vorstellungen auch nach dem entsprechendem Unterricht weiter festzuhalten (STAVY 1991).

Ziele naturwissenschaftlichen Unterrichts in Hinblick auf Schülervorstellungen

Die mögliche Zielsetzung, fachlich falsche Vorstellungen zu tilgen und durch wissenschaftlich richtige Erklärungsansätze zu ersetzen, wird nach DUIT (1992) in dieser radikalen Sichtweise nur von wenigen Didaktikern vertreten. Einen solchen Vorstellungsaustausch schlagen z.B. NUSSBAUM & NOVICK (1982) in einer dreiphasigen Strategie vor:

1. Entwickeln und Verdeutlichen alternativer Verständnisse,
2. Konfrontation alter Vorstellungen in einem geeigneten kognitiven Konflikt und
3. Hilfestellung zur Entwicklung eines neuen Erklärungsmusters und damit Austausch der alten gegen die neuen Vorstellungen.

Ziel ist hier ein dauerhafter Wechsel von einer alltagsweltlichen zu einer ausschließlich wissenschaftlichen bzw. wissenschaftsorientierten Sprech- und Denkweise.

Die überwiegende Mehrheit der Didaktiker lässt jedoch den fachlichen Fehlvorstellungen der Schüler durchaus einen Eigenwert zukommen. Immerhin ermöglichen es selbst Fehlvorstellungen den Schülern häufig, Alltagssituationen zwar nicht wissenschaftlich korrekt, aber dennoch angemessen zu interpretieren bzw. auf sie zu reagieren (JUNG 1881; SOLOMON 1983) (Zur Wortwahl "Fehlvorstellung" vgl. Kap. 3.1.4, S. 86).

Ziel des Unterrichts soll es also nicht sein, fachlich falsche Alltagsvorstellungen auszumerzen, sondern vielmehr sollen sie erhellt, verstanden und selbst - so weit das geht - systematisiert werden (vgl. Textbox). Den Schülern soll dabei der begrenzte Nutzen ihrer fachwissenschaftlich falschen Vorstellungen einsichtig werden. BÖHME (1981) charakterisiert folgerichtig die Aufgabe des naturwissenschaftlichen Unterrichts mit den Schlagwörtern "Bewahren und Dazulernen". Nach STORCK (1995) müssen daher neben den Vorstellungen besonders die nachfolgenden Verarbeitungsprozesse im Unterricht berücksichtigt werden. Wichtig ist dabei eine deutliche Abgrenzung zwischen einer im "alltäglichen" Leben weiterhin "erlaubten" Verwendung einfacher Vorstellungskonzepte und einer wissenschaftlichen Sprech- und Denkweise in entsprechenden Situationen. HEDEWIG (1988) führt in Hinblick auf das, was Schülern zu verschiedenen Eigenschaften von alltäglichen und wissenschaftlichen Vorstellungen vermittelt werden kann, weiter aus: Als Fundament für Urteil und Einsicht und damit für die Planung und Durch-

"Hauptziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts ist es nicht, die Menschen zu befähigen, Alltagsprobleme zu lösen, sondern (...) sie zu befähigen, Erscheinungen ihrer Alltagswelt, ihrer technischen Umwelt und der unanschaulichen Welt des wissenschaftlichen Forschungsprozesses mit übergreifenden Vorstellungen zu sehen." (JUNG 1981a).

führung von Handlungen haben wissenschaftliche Konzepte gegenüber Alltagsvorstellungen zwei Vorteile: Sie zeichnen sich zum einen durch eine größere Allgemeinheit aus, was ihre Erklärungsmächtigkeit erhöht (vgl. auch JUNG 1986), zum anderen haben sie eine größere Präzision. Schüler, die sich wissenschaftliche Konzepte aneignen, verfügen deshalb über eine größere Kontextflexibilität, d.h. sie sind in der Lage, Vorstellungen gemäß situationsbedingter Anforderungen zu transferieren (vgl. KAISER & KAISER 1991). Neben diesen beiden Vorteilen, die auf konkrete Alltagssituationen bezogen sind, stellt JUNG (1985) zusätzlich die mögliche Erzeugung eines "kulturellen Kommunikationszusammenhanges", die Erzeugung konsensueller Bereiche (vgl. Kernaussage 4, S. 60) heraus.

Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts ist in Folge des Dargestellten das Erlernen und Einüben einer wissenschaftlichen bzw. wissenschaftlicheren Sprech- und Denkweise, die kontextabhängig anstelle der parallel - aber mit der Möglichkeit zu gegenseitiger Beeinflussung - weiter entwickelten Alltagssprache genutzt werden kann.

Neben diesen übergeordneten Zielen, die in Hinblick auf fachliche Vorstellungen so für ganze Schülergruppen im naturwissenschaftlichen Unterricht gelten können, ist es möglich, aufgrund konkreter Wissensstrukturen einzelner Schüler die Ziele des Unterrichts differenzierter für *Individuen* bzw. bei der Mehrfachauffindung bestimmter Strukturen die Ziele des Unterrichts differenzierter für *Teile der Lerngruppe* zu bestimmen (vgl. ROWELL et al. 1990).

Die Formulierung der Ziele wird dabei durch folgende mögliche Ursachen für fachliche Fehlvorstellungen beeinflusst. Bei der folgenden Auflistung wird davon ausgegangen, dass der Lehrer die Verhaltensweisen des Schülers auch im Sinne des Schülers interpretiert hat:

1. Der Schüler besitzt die für einen aktuellen Kontext zur angemessenen Reaktion notwendige Vorstellung nicht.
2. Der Schüler besitzt zwar die Vorstellungen, um im aktuellen Kontext angemessen zu reagieren, die entsprechenden Wissensinhalte des Gedächtnisses werden aber nicht aktiviert.
3. Der Schüler aktiviert im aktuellen Kontext zwar die richtigen Vorstellungsbereiche (Schemata). Die aktivierten Vorstellungen sind jedoch fachlich falsch (z.B. unpräzises "Wissen" aus Medien).
4. Der Schüler wendet eine in bestimmten Kontext richtige Vorstellung in einem unangemessenen Kontext an (z.B. anthropomorphe Erklärungen, Anwenden von Alltagsbeobachtungen auf komplexe fachwissenschaftliche Zusammenhänge: "Wenn es kalt ist, sind die Bienen traurig und fliegen deshalb langsamer.").

Entsprechend der oben genannten kognitiven Abläufe ist das Ziel der unterrichtlichen Wissensvermittlung jeweils unterschiedlich. Ziel kann es sein, dass der Schüler neue Wissensstrukturen aufbauen soll, bestehende Strukturen verändern (verfeinern, umstrukturieren) soll oder/und neues Wissen mit vorhandenem Wissen verknüpfen soll.

Voraussetzung für eine Steigerung der Effizienz von Biologieunterricht bei der Erweiterung und Differenzierung von Wissen ist auf Grundlage der obigen Erläuterungen für die meisten Didaktiker allgemein eine Relativierung der Schülervorstellungen.

Offen sind die Fragen:

1. Welche der vielen möglichen wissenschaftlichen Vorstellungen zu den Themen, die die Lehrpläne vorgeben, sollen den Schülern zu vermitteln versucht werden?
In Hinblick auf das Thema "Energie im biologischen Kontext" wird die diesbezügliche Diskussion in Kapitel 5 geführt.

2. Durch welche Strategien können die im herkömmlichen Unterricht aufgetretenen Lernschwierigkeiten bei Vorstellungsänderungen minimiert werden?

Allgemeine Strategien zur effizienteren Unterrichtsgestaltung auf der Basis von Schülervorstellungen werden hierzu ab Seite 106 zusammengestellt. Vier übergeordnete Strategien für den konkreten unterrichtlichen Umgang mit Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" werden in Kapitel 5 diskutiert.

Grundlegende Voraussetzungen für die Änderung von Schülervorstellungen

Für die grundlegende Veränderung von Vorstellungen werden von einigen Autoren notwendige Bedingungen herausgearbeitet:

PRENZEL (1993) betont, dass der aktive Konstruktionsprozess des Lernens ohne eine Beteiligung des Lernenden nicht vorstellbar sei. Motivation zum Lernen sei eine notwendige Voraussetzung jeden Wissenserwerbs. In Bezug auf Schülervorstellungen sieht POSNER (1982) die notwendige Motivation durch eine Unzufriedenheit mit den eigenen Vorstellungen für gegeben. Eine derartige Unzufriedenheit kann mit Hilfe geeigneter Perturbationen im Schulunterricht genutzt werden, um Vorstellungen im Sinne der Unterrichtsziele zu verändern (vgl. Kap. 3.1.3.6, S. 79). Die Übernahme wissenschaftlicher Sichtweisen gelingt nach POSNER jedoch nur, wenn die neuen Vorstellungen von den Schülern verstanden werden, wenn sie plausibel und zudem noch nützlicher erscheinen als die alten Vorstellungen (STAVY 1991). Hierzu müsse deutlich werden, dass die neu erworbenen Vorstellungen nicht nur den aktuellen kognitiven Konflikt lösen, sondern sich auch in zukünftigen anderen Anwendungen als fruchtbar und praktikabel erweisen (vgl. LOUDEN & WALLACE 1994).

MIETZEL (1998) weist darauf hin, dass die Veränderung von Vorstellungen neben den motivationalen Aspekten u.a. auch von persönlichen und sozialen Faktoren abhängen.

GERSTENMAIER & MANDL (1995) machen in Hinblick auf eine erfolgreiche Vorstellungsänderung darauf aufmerksam, dass neue Inhalte den Lernenden nicht als fertiges System, als Welt abgeschlossener Erkenntnis präsentiert werden dürfen. Die Lernumgebung müsse für den Schüler vielmehr erkennbare Freiheitsgrade aufweisen, so dass eigene Wissenskonstruktion und Interpretation möglich seien (vgl. auch CLAXTON 1986).

Als weitere grundlegende Voraussetzung gilt: Die vermehrte Einbeziehung von Schülervorstellungen bei der Unterrichtsgestaltung bedarf einer gesteigerten Fähigkeit zur sprachlichen Kommunikation, denn Vorstellungsinhalte können nur durch Kommunikation ausgetauscht werden. ALLHOFF & ALLHOFF (1993) kennzeichnen eine solche Fähigkeit zur sprachlichen Kommunikation wie folgt: "Zu anderen oder mit anderen überlegt, gezielt und intendiert zu sprechen, zu reden, zu diskutieren, zu debattieren, zu verhandeln (...)". KLIPPERT (1996) stellt in diesem Zusammenhang fest: "Vorherrschend ist mittlerweile die medienbestückte Kleinfamilie (...). Diese fördert nicht nur den Individualismus und den Egoismus, sondern sie begünstigt tendenziell auch die Sprachlosigkeit. Es wird prinzipiell immer leichter, sich zurückzuziehen und ohne intensiven Kontakt mit anderen Menschen durchs Leben zu kommen. Von daher wird das naturwüchsige soziale und kommunikative Lernen gravierend beschnitten.". KLIPPERT fordert deshalb ein Lern- und Bildungsverständnis, das u.a. dem Lernziel Kommunikation einen zentraleren Stellenwert beimisst.

In Hinblick auf den unterrichtlichen Umgang mit Schülervorstellungen kann das von KLIPPERT vertretene Verständnis eines erweiterten Lernbegriffs ausdifferenziert werden. Stichworte und Fragestellungen skizzieren nachfolgend die von KLIPPERT unterschiedenen vier Bereiche des Lernens:

Inhaltlich-fachliches Lernen: Wissenserwerb, Verstehen, Erkennen, Urteilen, ...

Wie sind Vorstellungen im Gehirn abgespeichert?

Welche Bedeutung haben Vorstellungen für den Prozess der Wahrnehmung und damit für die wahrgenommenen Inhalte?

Methodisch-strategisches Lernen: Organisieren, Gestalten, Planen, ...

Wie können Schüler und Lehrer sich ihrer eigenen Vorstellungen bewusst werden?

Wie können Schüler ihre eigenen Vorstellungen fördernd für das Verstehen einsetzen?

Wie können Vorstellungen helfen, Gelerntes besser zu behalten?

Sozial-kommunikatives Lernen: Zuhören, Fragen, Diskutieren, Kooperieren, Präsentieren, ...

Wie gelangen Schüler und Lehrer gegenseitig an die Vorstellungen ihrer Mitmenschen?

Wie präsentiert man eigene Vorstellungen in der Gruppe?

Wie geht man mit Vorstellungen um, die nicht den eigenen Vorstellungen entsprechen?

Affektives Lernen: Vertrauen empfinden, Spaß haben, Identifikation spüren, ...

Wie gewinnen Schüler Selbstvertrauen, um sich das Offenlegen eigener Vorstellungen vor der Klasse zuzutrauen?

Wie können Schüler Spaß und Freude am Lernen, am Umgang mit Vorstellungen entwickeln?

Durch die Beachtung der vier Bereiche des Lernens sollte es bei der Unterrichtsgestaltung besser gelingen, die Differenzen zwischen Schülervorstellungen und wissenschaftlichen Vorstellungen aufzuarbeiten und damit die Lernschwierigkeiten im naturwissenschaftlichen Unterricht zu minimieren.

Strategien der Unterrichtsgestaltung zur Änderung vorunterrichtlicher Schülervorstellungen

In der Literatur zu Schülervorstellungen werden im wesentlichen zwei Modelle zur Änderung vorunterrichtlicher Vorstellungen diskutiert. Die Vertreter der Konzeptwechselmodelle gehen davon aus, dass der Übergang von vorunterrichtlichen Vorstellungen zu wissenschaftlichen Sichtweisen nur über einen Bruch mit den alten Vorstellungen erfolgen kann. Die Vertreter der Anknüpfungs- und Umdeutungsmodelle erachten dagegen einen fließenden Übergang zwischen den beiden Vorstellungswelten für angemessen (ursprüngliche Konzepte u.a. in DRIVER 1989; JUNG 1986; NEEDHAM & HILL 1987; POSNER 1982). Veröffentlichungen wie die von DUIT (1996) oder HÄUBLER et al. (1998) führen in diesem Zusammenhang die Begriffe "diskontinuierliche Taktik" für Konzeptwechselmodelle und "kontinuierliche Taktik" für Anknüpfungs- und Umdeutungsmodelle ein.

Konzeptwechselmodelle

Basierend auf dem Modell des Konzeptwechsels werden in der Literatur eine Reihe von unterschiedlichen Strategien zur unterrichtlichen Umsetzung vorgeschlagen. Grundgedanke aller Strategien ist dabei, dass ein Widerspruch zwischen alter Vorstellung und im Unterricht neu dargebotener Information die Lernenden in einen kognitiven Konflikt führt. Die Auflösung dieses Konflikts wird letztendlich durch die beabsichtigte Veränderung der alten Vorstellung erreicht.

DRIVER (1985, 1989) entwickelte eine Abfolge von Unterrichtsschritten, die auf der Basis von kognitiven Konflikten zur Vorstellungsänderung führen soll (vgl. Abb. 3-16):

In einer ersten Phase sollen sich die Schüler nach einer Orientierung ihrer Vorstellungen bewusst werden. Bei der Identifizierung und Klärung der vorhandenen Schülervorstellungen kann auf Methoden wie sokratisches Lehren, Schülerdiskussionen sowie Beobachtung bzw. Diskussion im Zusammenhang mit Schülerübungen und Experimenten zurückgegriffen werden.

Anschließend erfolgt die Aufarbeitung der Vorstellungen. Dies kann z.B. durch Klärungen, durch Konfliktsituationen oder/und durch das Entwickeln neuer Vorstellungen und eine Bewertung der entsprechenden Gedankengänge geschehen. Hervorgehoben wird die Verwendung von Gegenbeispielen zur Provokation von Schülervorstellungen (Konfrontationsstrategie, vgl. Kap. 5).

Im weiteren Verlauf folgt das Einführen neuer Begriffe. Dabei ist zu beachten, dass die Schüler in der Lage sein müssen, zwischen ihrem bestehenden Wissen und der neuen Vorstellung Verbindungen herzustellen. Zusätzlich wird vorgeschlagen, dass die neuen Vorstellungen (z.B. Theorien) so dargestellt werden, dass die Lernenden sie als vorläufig und möglicherweise Änderungen erfordernd bewerten.

Im nächsten Schritt erfolgt eine Anwendung der Vorstellungen in geeigneten Situationen. Wichtig ist, dass die Schüler möglichst viele Gelegenheiten bekommen, ihre neuen Ideen in verschiedener Weise anzuwenden, so dass sie Vertrauen zu ihnen gewinnen. Praktische Tätigkeiten können dabei so angelegt sein, dass sie die Brauchbarkeit theoretischen Wissens erkennen lassen.

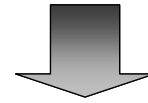
In der letzten Unterrichtsphase kommt es zu einem Vergleich zwischen alten und neuen Vorstellungen und zu einer Reflexion der stattgefundenen Vorstellungsänderungen.

Diese idealisierte Abfolge von Lernstationen kann als Grundmodell der Konzeptwechselmodelle aufgefasst werden, wie sie von verschiedenen Autoren mit unterschiedlicher Schwerpunktsetzung variiert wird (z.B. ANDERSON & SMITH 1987; HASHWEH 1996; HÄUßLER et al. 1998; ROTH et al. 1987; STORCK 1995 in Anlehnung an den "Learning Cycle" nach PIAGET).

Eine ähnliche schematische Sequenz schlägt APPELTON (1997) vor. Anders als DRIVER legt APPELTON einen Schwerpunkt seiner unterrichtlichen Bemühungen darauf, zu verhindern, dass Schüler ihre falschen Alltagsvorstellungen bestätigen bzw. wegen fehlender Motivation frühzeitig aus dem Lernprozess aussteigen (vgl. Abb. 3-14, S. 80).

Eine Erweiterung des Konzeptwechselmodells nehmen GLYNN & DUIT (1995) in ihrem Ansatz der "Konstruktiven Lernumgebung" auf. Sie gehen damit auf die Überlegung ein, dass Wissen nicht unabhängig von seinem Kontext, sondern in bestimmten definierten Situationen erworben wird. Im Rahmen der Konzeption des situierten Lernens (situated learning) wird versucht, diese Rahmenbedingungen des Lernens lernfördernd einzusetzen (BROWN, COLLINS & DUGUID 1989). Dabei soll verhindert werden, dass sogenanntes "träges Wissen" (inert knowledge) entsteht; Wissen, das für Schüler nicht lösungsrelevant ist, weil es zu sehr mit den besonderen Bedingungen seiner

Schüler werden sich ihrer themenrelevanten Vorstellungen bewusst



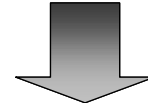
Aufarbeitung der Schülervorstellungen



Einführung neuer Begriffe



Anwendung der neuen Vorstellungen in geeigneten Situationen



Vergleich zwischen alten und neuen Vorstellungen

Abb. 3-16: Konzeptwechselmodell nach Driver (1985, 1989)

Entstehung verknüpft ist und deshalb in entsprechenden Problemsituationen als nicht abrufbares Wissen nutzlos bleibt (vgl. REINMANN-ROTHMEIER & MANDL 1998). Aufbauend auf dieser Kenntnis stellen GLYNN & DUIT in ihrem Ansatz die Wichtigkeit heraus, im Schulunterricht möglichst komplexe und alltagsnahe Probleme zu behandeln, um einerseits die Schüler zu motivieren und andererseits gleichzeitig die Nutzbarkeit des neuen Wissens in realen Problemsituationen zu verdeutlichen. Ein bedeutungsvolles Lernen ist nach GLYNN & DUIT dabei jedoch nur dann möglich, wenn die Lernenden ihr themenrelevantes Vorwissen durch verschiedene unterrichtliche Maßnahmen möglichst vollständig aktivieren, wenn sie anschließend ihr Vorwissen mit den aktuellen Unterrichtsinhalten in vielfältige Beziehung setzen und hierbei aus den alten Vorstellungen und neuen Informationen ihr eigenes neues Wissen konstruieren. Für diese Prozesse muss eine "konstruktive Lernumgebung" bereitgestellt werden. Bei deren Gestaltung sind neben Aspekten der wissenschaftlichen Sachstruktur insbesondere die vorunterrichtlichen Schülervorstellungen zu beachten. Speziell durch die Berücksichtigung der Schülervorstellungen sollen geeignete Unterrichtsinhalte (Beispiele, Experimente) gefunden werden, die das Thema den Schülern bedeutungsvoll erscheinen lassen und die geeignete Konflikte zu wissenschaftlichen Vorstellungen ermöglichen.

Als Problem bei der unterrichtlichen Umsetzung der Konzeptwechselmodelle hat sich gezeigt, dass Schüler z.T. die im Unterricht initiierten kognitiven Konflikte nicht wahrnehmen. Statt die Fehlerhaftigkeit der eigenen Vorstellung einzugestehen, deuten sie das Wahrgenommene so um, dass eine Umstrukturierung ihrer Vorstellungen und damit ein Lernprozess vermieden wird (APPELTON 1997; BRINKMANN 1997, vgl. auch Abb. 3-14 und entsprechende Erläuterungen in Kap. 3.1.3.6, S. 80ff).

Anknüpfungs- und Umdeutungsmodelle

Die kontinuierlichen Pfade konstruktivistischer Unterrichtsgestaltung auf der Basis von Schülervorstellungen werden in Anlehnung an JUNG (1986) unterteilt in diejenigen, bei denen bestimmte Schülervorstellungen als Ausgangspunkte zum Anknüpfen neuer Vorstellungen benutzt werden können, und in diejenigen, bei denen bestimmte Vorstellungsinhalte zu wissenschaftlich korrekten Vorstellungen umgedeutet werden können.

Beim Anknüpfen werden bestehende Vorstellungen, die nicht oder möglichst wenig mit wissenschaftlichen Vorstellungen kollidieren, in einen anderen Zusammenhang eingefügt. Damit soll ein bruchloser Übergang zwischen Alltagsvorstellung und wissenschaftlicher Vorstellung gelingen.

Beim Umdeuten bleibt zwar die Struktur einer Vorstellung erhalten, jedoch wird ihr eine andersartige Bedeutung zugeordnet. So können z.B. wissenschaftlich korrekte Verständnisse von Schülern durch die Einführung eines neuen Begriffs in den Unterricht sinnvoll einbezogen werden.

Bei beiden Modellen werden neue Informationen in bestehende passende Vorstellungen integriert, wobei zwischen den vorunterrichtlichen und wissenschaftsorientierten Vorstellungen überbrückende Zwischenvorstellungen erarbeitet werden können. Das Weiterentwickeln von Vorstellungen - STAVY (1991) spricht von Konzeptwachstum - führt so zum beabsichtigten Lernerfolg.

Die Probleme, die bei den oben genannten diskontinuierlichen Taktiken beim Umgang mit dem kognitiven Konflikt auftreten, werden hier vermieden. Andersartige Schwierigkeiten ergeben sich jedoch, wenn die Schüler nicht von der Ähnlichkeit des bekannten und des neuen Sachverhalts zu überzeugen sind oder die Diskrepanz zwischen der alten vorunterrichtlichen Vorstellung und der neuen wissenschaftlichen Vorstellung zu groß ist.

Weitere Ansätze zum Umgang mit Schülervorstellungen

In der Instruktionspsychologie und in der empirischen Pädagogik werden eine Reihe von konstruktivistischen Ansätzen zur Verbesserung von schulischen Lehr-Lern-Prozessen diskutiert, die keinen expliziten Bezug zur schülervorstellungsorientierten Unterrichtsgestaltung aufweisen (vgl. Überblick zu einigen dieser Ansätze in GERSTENMAIER & MANDL 1995). Die folgende Übersicht skizziert ausgewählte Aussagen derjenigen Vorschläge, die in Hinblick auf eine Effizienzsteigerung (von Biologieunterricht) für den unterrichtlichen Umgang mit Schülervorstellungen (zu "Energie im biologischen Kontext") förderlich erscheinen.

Durch einen "narrativen Anker" versuchen BRANSFORD et al. (1989) - anders als GLYNN & DUIT (1995) s.o. - das Problem zu lösen, dass Wissen zwar vorhanden, aber in entsprechenden Problemsituationen nicht abrufbar ist (Anchored Instruction-Ansatz zur Verhinderung "trägen Wissens"). Eine den Schülern dargebotene (spannende Abenteuer-) Geschichte soll Interesse wecken, die Identifizierung und Definition von Problemen ermöglichen sowie die Aufmerksamkeit der Lernenden auf das Wahrnehmen und Verstehen dieser Probleme lenken (ähnliche Funktion wie der narrativer Anker erfüllen auch "advance organizers" von AUSUBLE 1986). Das beabsichtigte Stellen einer authentischen Lernumgebung soll dabei explorierendes, offenes Lernen ermöglichen. Durch unterschiedliche Problem- und Anwendungskontexte zu einer Wissensdomäne soll eine Dekontextualisierung des Wissens und damit eine bessere Transferierbarkeit des Gelernten erreicht werden. Die Schüler sollen so schon beim Wissenserwerb zu unterscheiden lernen, welches Wissen auf andere Situationen übertragbar und welches Wissen situationsspezifisch ist. Dieser Gedanke, das Wissen der Schüler zu "entkontextualisieren" - Verbindungen zu lösen, die zwischen bestimmten Wissensinhalten und irrelevanten Aspekten der Lernsituation bestehen - wird auch von SINGLY & ANDERSON (1989) publiziert.

Ebenfalls auf eine gestärkte Anwendbarkeit des erlangten Wissens zielt der Cognitive Flexibility-Ansatz im Zusammenhang mit der Random Access Theory von BLOOM (1992). Ziel der Lehrbemühungen ist es - vergleichbar dem Anchored Instruction-Ansatz - , multiple und damit flexible Repräsentationen zu indizieren, die flexibel in einer Vielzahl von Kontexten herangezogen werden können. Hierzu wird das gleiche Konzept zu verschiedenen Zeiten, in veränderten Kontexten, unter veränderter Zielsetzung und aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet und zu anderen Konzepten in Verbindung gebracht. Auf diese Weise sollen gleichzeitig Übersimplifizierungen verschiedenster Art vermieden werden (vgl. Ausführungen zu "Enttrivialisierung und Lernen" bei v. FOERSTER 1993, 1993b)

Durch die oben vorgestellten Ansätze zum Umgang mit Schülervorstellungen gewinnen die sozialen und affektiven Aspekte eines konstruktivistischen Lehr-Lernprozesses mehr Bedeutung (vgl. hierzu die Kernaussagen 3 und 4 (S. 58ff) sowie die Ausführungen in Kap. 3.1.3.3, S.67ff). MANDL, GRUBER & RENKL (1993) heben hervor: Lernen ist immer ein Prozess, in dem personeninterne Faktoren (wie etwa Interesse und Motivation) mit personenexternen, situativen Komponenten (wie etwa Authentizität und sozio-kulturelle Aspekte von Lernsituationen) in Wechselbeziehungen stehen (Zusammenfassung zu sozial-konstruktivistischen Perspektiven bei Konzeptwechselansätzen in HÄUBLER et al. 1998).

Ein weiteres Modell zur Veränderung von Vorstellungen wird im Zusammenhang mit der unterrichtlichen Anwendung von Analogien diskutiert. Der Bezug auf Bekanntes und Vertrautes soll den Schülern das Erschließen neuer Vorstellungen erleichtern (TREGUST et al. 1996). Insbeson-

dere dann, wenn die vorunterrichtlichen Vorstellungen in wichtigen Aspekten nicht mit den wissenschaftlichen Vorstellungen übereinstimmen oder wichtige Vorstellungen fehlen - z.B. bei abstrakten Begriffen - sollen Analogien helfen, durch das Knüpfen von Beziehungen zwischen alten und neuen Vorstellungen Ansatzpunkte für ein Verständnis zu erreichen. Viele Analogien haben allgemein veranschaulichende Funktion und erleichtern so das Umstrukturieren von vorhandenem Wissen. Sind die Differenzen zwischen altem und neuem Wissen zu groß, können überschaubare Zwischenschritte bei der Analogiefindung helfen (Bridging-Analogies-Ansatz von BROWN & CLEMENT 1989). Probleme treten dann auf, wenn die gewählte Analogie den Schülern nicht vertraut ist oder wenn die Analogie auf Bereichen fußt, zu denen die Schüler ebenfalls fachwissenschaftlich falsche Vorstellungen besitzen. Desweiteren besteht die Gefahr, dass die herangezogenen Vereinfachungen, Modelle, Experimente und Demonstrationen mit ihren Ungenauigkeiten die Vermittlung eines wissenschaftlichen Wissens verhindern oder die zu lernenden Zusammenhänge verfälschen.

Eine völlig andere Strategie zur Veränderung von Vorstellungen publiziert WIESNER (1994). In Ermangelung geeigneter Experimente zur Konfrontation zwischen Schülervorstellung und wissenschaftlicher Vorstellung und durch die gewonnene Erfahrung, dass die unterrichtliche Einbeziehung von Schülervorstellungen zeitintensiv ist (Schüler verteidigen oft ihre Vorstellungen gegenüber anderen Vorstellungen von Seiten der Mitschüler und des Lehrers), schlägt er vor, unpassende und problematische Vorstellungen durch die Wahl der Beispiele und Kontexte im Unterricht nicht zu aktualisieren und damit eine unterrichtliche Aufarbeitung zu vermeiden. Stattdessen soll die Sachstruktur des Unterrichts so gestaltet werden, dass ein kontinuierliches Lernen - an den Vorstellungen der Schüler vorbei - möglich wird.

Didaktische Rekonstruktion: Beziehungen zwischen fachlicher Vorstellung und Schülerperspektive

In einer anderen Weise setzt sich das "Modell der Didaktischen Rekonstruktion", welches sich als theoretischer Rahmen zur Planung, Durchführung und Auswertung fachdidaktischer Lehr-Lernforschung versteht, beim Umgang mit Schülervorstellungen auseinander (KATTMANN & GROPEGIEBER 1996). Während in der internationalen fachdidaktischen Forschung bisher hauptsächlich Schülervorstellungen untersucht wurden, werden im Rahmen der "Didaktischen Rekonstruktion" "(...) hermeneutische-analytische Forschungen zur fachlichen Klärung wissenschaftlicher Inhalte eng mit empirischen Erhebungen zu individuellen Lernbedingungen verknüpft (...)" (GROPEGIEBER 1997). Innerhalb eines fachdidaktischen Triplets stehen dabei fachliche Klärung, Erfassung von Schülervorstellungen und didaktische Strukturierung in wechselseitiger Beziehung (KATTMANN, DUIT, GROPEGIEBER & KOMOREK 1997): Schülervorstellungen und fachlich geklärte wissenschaftliche Aussagen werden aufeinander bezogen und dienen gleichwertig für die didaktische Rekonstruktion von Unterrichtsinhalten (KATTMANN 1992). Dieses gleichwertige Infragestellen von lebensweltlichen und wissenschaftlichen Konzepten stellt nach KATTMANN für die didaktische Strukturierung eine Basis dar, um Unterrichtsgegenstände zu entwickeln, mit denen fruchtbar gelernt werden kann.

GROPENGIÉBER (1997) wertet: Bisher zu wenig beachtete Gegensätze zwischen lebensweltlichen und wissenschaftlichen Vorstellungen bei ein und derselben Person innerhalb ihres kognitiven Systems "erscheinen sehr gut geeignet für ein Lernen am (eigenen) Widerspruch".

4 Ermittlung und Analyse von Schülervorstellungen zum Thema "Energie im biologischen Kontext"

4.1 Stand der Forschung und sein Einfluss auf Ziele und Methoden der Studie

Seit über 20 Jahren ist es ein weltweit intensives Bestreben, Schülervorstellungen zum Thema "Energie" zu ermitteln und zu untersuchen, in welcher Weise sich diese Vorstellungen durch den Unterricht in der Schule verändern¹. Über 130 Titel zur Energiethematik führt allein die von PFUNDT & DUIT (1994, 2000) am IPN geführte Bibliographie "Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht" auf. Der größte Teil dieser Studien ist im Bereich der Physik, ein deutlich geringerer Teil im Bereich der Chemie verwirklicht worden. Aus der Biologie liegen nur wenige Arbeiten über Schülervorstellungen zur Energiethematik vor.

Die Vorstellungen deutschsprachiger Schüler zu "Energie im biologischen Kontext" sind wenig untersucht.

Die wenigen Untersuchungen über Schülervorstellungen zur Energiethematik wurden zumeist *außerhalb des deutschen Sprachraums* mit Schülern im Alter der Sekundarstufe I durchgeführt.

Die Befragungen waren an bestimmten biologischen Themenfeldern ausgerichtet, zumeist aus dem Bereich der Stoffwechselphysiologie (Photosynthese, Respiration, Energiefluss), so dass die Betrachtung übergreifender energetischer Aspekte nicht stattfand (BANET & NUNEZ 1997; BARAK et al. 1997; BRINK-MAN et al. 1994; DREY-FUSS 1988; EISEN & STAVY 1993; GAYFORD 1986, 1986b; NICHOLLS 1993; PLOGER 1991; SCHERMER & ACHTERSTRAAT 1991; SEYMOUR 1991; SIMPSON 1982;

SOLOMON 1983, 1987, 1992; STAVY et al. 1987). Arbeiten, die sich mit Schülervorstellungen *all-*

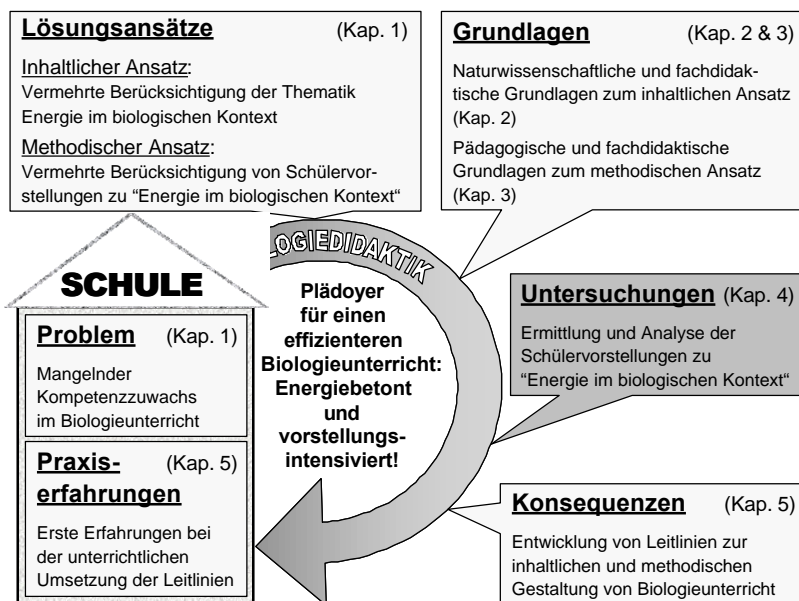


Abb. 4-1: Gliederung der Arbeit (aktuelle Position markiert)

¹ Einige Untersuchungen beschäftigen sich auch mit den Vorstellungen der Lehrer zur Energiethematik (vgl. PFUNDT & DUIT 1994, 2000). Im Bereich der Biologie fasst die Arbeit von TRUMPER (1997) hierzu den aktuellen Stand kurz zusammen.

gemein zu "Energie im biologischen Kontext" beschäftigen, sind in der englischsprachigen Literatur bislang nicht publiziert.

Die wenigen im deutschsprachigen Raum in der Biologie zur Energiethematik durchgeführten Untersuchungen - außer den bereits genannten Arbeiten im Vorfeld dieser Untersuchung (vgl. BURGER 1991, 1994, 1997; GERHARDT & BURGER 1997, 1997b; GERHARDT & PIEPENBROCK 1990, 1992) - analysieren vor allem die Vorstellungen der Schüler über den Ausdruck Energie selbst. Gleich mehrere Autoren führten Assoziationstests durch, um das gedankliche Umfeld des Ausdrucks Energie bei Schülern unterschiedlicher Alters- und Schulstufen genauer kennenzulernen (BICKEL-SANDKÖTTER & BICKEL 1999; DUIT 1986; SCHAEFER 1982, 1983; SCHUBERT 1991). Befragungen speziell zur Aufdeckung von Vorstellungen zum Themenbereich "Energie im biologischen Kontext" sind dagegen nicht bekannt.

Die zahlreichen Untersuchungen zu Schülervorstellungen zum Thema Energie aus den Bereichen Physik und Chemie sowie die Ergebnisse der oben erwähnten Untersuchungen aus dem Bereich Biologie zum Themenfeld der Stoffwechselphysiologie legen die Vermutung nahe, dass auch bei deutschsprachigen Schülern und auch in anderen Themenfeldern der Biologie ein reiches Spektrum an Vorstellungen hinsichtlich der Energiethematik vorhanden ist.

Die Ergebnisse der Untersuchungen nicht deutschsprachiger Schüler haben keinen Einfluss auf die Ziele und Untersuchungsmethoden der vorliegenden Studie.

BRINKMAN (1997) konnte im Bereich der Biologie zeigen, dass Vorstellungen von holländischen und deutschen Schülern z. B. im Bereich Humanbiologie/Gesundheit in grundlegenden Aussagen Ähnlichkeiten, im Detail jedoch Unterschiede aufwiesen. Solche Unterschiede zeigten sich in den Schüleräußerungen etwa im Benutzen unterschiedlicher Adjektive und Verben sowie beim Bezug auf unterschiedliche Alltagssituationen. Die Unterschiede waren wegen der soziokulturellen Besonderheiten und den damit verbundenen verschiedenen Erfahrungsmöglichkeiten der Schüler jedoch nicht nur zwischen Nationen, sondern bereits - wenn auch in geringerem Ausmaße - von Region zu Region festzustellen (vgl. SUMFLETH 1989).

Die von Schülerpopulation zu Schülerpopulation unterschiedlichen Vorstellungen machen in Hinblick auf den methodischen Ansatz der Arbeit deutlich, dass die Ergebnisse der aufgeführten ausländischen Studien keinen Einfluss auf die Zielsetzung und Auswahl der Untersuchungsmethoden zur vorliegenden Arbeit haben dürften: Ein effizienterer Unterricht unter stärkerer Berücksichtigung von Schülervorstellungen erscheint nur dann möglich, wenn nur solche Vorstellungen berücksichtigt werden, die den *tatsächlich* vorhandenen Schülervorstellungen möglichst gleichen. Nur so ist der DIESTERWEGsche Ansatz, den Schüler dort abzuholen, wo er steht, auch wirklich umsetzbar.

In Hinblick auf Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" verdeutlicht folgender Gedankengang das Gesagte: Schülervorstellungen werden im Zusammenhang bestimmter Sinneindrücke individuell gewonnen und bedürfen bei der sprachlichen Wiedergabe eines bestimmten Vokabulars. Besonders die in den Schülerformulierungen zum Thema Energie benutzten Adjektive und Verben sowie die im Zusammenhang von Erläuterungen verwendeten Beispiele aus dem Alltag (Metaphern und Analogien) sind für Lehr-Lernprozesse aus Sicht des Lehrers von Interesse. Sie kennzeichnen im besonderen Maße den "DIESTERWEGschen Standpunkt des Schülers" und zeigen unterrichtliche Anknüpfungspunkte auf. Zitate aus Voruntersuchungen wie "Energie besteht aus kleinen, unsichtbaren Teilchen.", "In Dextro ist Energie." oder "Energie ist bei Obst unter der Schale." belegen, welchen Rang Wortwahl, Analogien sowie das soziokulturelle Umfeld bei Aussagen von Schülern zu Energie haben.

Wenn Unterricht nach der "konstruktivistischen Grundauffassung vom Lernen" (vgl. Kap. 3.2.1, S. 91f) auf der Grundlage von Schülervorstellungen gestaltet werden soll, erscheint es aufgrund der obigen Ausführungen nötig, den Ort der Erhebungen und den Ort der Anwendung der Vorstellungen möglichst gleichartig zu wählen. Ideal wäre es, wenn dieselben Schüler zunächst zu ihren Vorstellungen zu bestimmten unterrichtsrelevanten Zusammenhängen des Biologieunterrichts befragt und anschließend in den gleichen bzw. ähnlichen Zusammenhängen mit Konzepten und Materialien unterrichtet würden, die auf Grundlage der zuvor ermittelten Vorstellungsinhalte (neu) gestaltet wurden. Diese Idealsituation ist in der Schulpraxis kaum zu erreichen: Die notwendigen Untersuchungen der Schülervorstellungen und die anschließende Entwicklung neuer, individuell auf die Schülergruppe zugeschnittener Unterrichtsmaterialien und -konzepte sind zu umfangreich und zu zeitintensiv. Um dennoch den Ort der Erhebung und den Ort der Anwendung der Schülervorstellungen zum Themenbereich "Energie im biologischen Kontext" möglichst *ähnlich* zu halten, werden bei der Ermittlung und der später folgenden unterrichtlichen Anwendung der Vorstellungsinhalte möglichst gleiche Schülergruppen einbezogen. Da es das Ziel der Arbeit ist, den Biologieunterricht an allgemeinbildenden Schulen des deutschen Sprachraums effizienter zu gestalten, wurden die Vorstellungen in dieser Arbeit ausschließlich von deutschsprachigen Schülern ermittelt. Um weitere Übereinstimmungen zwischen dem Ort der Erhebung und dem Ort der Anwendung der Schülervorstellungen zu ermöglichen, wurden die Schüler des Weiteren unter Beachtung der Faktoren Jahrgangstufe, Geschlecht, naturwissenschaftliches Interesse, Schulform und Lage der Schule (ländlich-städtisch) befragt.

Die Sichtweise, mit der die Ergebnisse von Studien, die mit Schülern aus anderen Sprachkreisen gewonnen wurden, in dieser Arbeit bewertet werden, wird von BECK (1987) gestützt. Er macht bei seinen Ausführungen zu Theorien der Unterrichtswirklichkeit darauf aufmerksam, dass die Übersetzung von "Basissätzen" - wie hier etwa die Formulierung von Schülervorstellungen - sowie die Übersetzung von Theorien von einer Sprache in eine andere aus philosophischen und ethnolinguistischen Überlegungen heraus für den sinnvollen Unterrichtseinsatz generell mit schwerwiegenden Argumenten bestritten wird.

Auf Grundlage der geschilderten Überlegungen bleiben die bereits vorliegenden Ergebnisse zu Vorstellungsinhalten von Schülern anderer Schulformen, anderer Sprach- und Kulturregionen sowie der angrenzenden Fachbereiche Chemie und Physik bei der Zielformulierung und Methodenwahl zur konkreten Ermittlung der Schülervorstellungen im Rahmen dieser Arbeit unberücksichtigt. Ein Vergleich der Vorstellungen dieser Schülergruppen, der allein aus wissenschaftlichen, nicht aber auch schulpraxisnahen Erwägungen interessant erscheint, wird in Kapitel 4.5.6.7 (S. 213f) vorgenommen.

4.2 Übergreifende Ziele und Fragestellungen der Untersuchung

Die in der Einleitung beschriebenen zwei Ansätze zur Effizienzsteigerung des Biologieunterrichts weisen den Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" im Biologieunterricht inhaltlich und methodisch eine größere Bedeutung zu. Zur Umsetzung dieser Ansätze ergaben sich konkrete Ziele für die Untersuchung der Schülervorstellungen, die in Kapitel 4.2.1 und Kapitel 4.2.2 zusammengefasst sind.

4.2.1 Inhalte, Auftrittshäufigkeiten und Kontextflexibilität der Schülervorstellungen

Neben einer qualitativen Erhebung (Inhalte der Vorstellungen) sollten auch quantitative Aussagen über die Auftrittshäufigkeit (Verbreitung) und Kontextflexibilität (Nutzung der Vorstellungen in unterschiedlichen Situationen) entsprechender Vorstellungsinhalte möglich sein². Übergreifende Fragestellungen waren deshalb:

Qualitativer Aspekt:

Welche Vorstellungsinhalte besitzen Schüler zu "Energie im biologischen Kontext"?

Quantitativer Aspekt:

Welche der im Zusammenhang mit "Energie im biologischen Kontext" ermittelten Vorstellungsinhalte werden häufig und in verschiedenen Kontexten bei der Deutung und Erklärung von Wahrgenommenem angewandt?

4.2.2 Abhängigkeit der Schülervorstellungen von unterrichtsrelevanten Faktoren

Da es das Ziel dieser Arbeit ist, energetische Aspekte im Biologieunterricht während der *gesamten Schulzeit* der Sekundarstufen I und II vermehrt in den Vordergrund zu stellen (Energie als Roter Faden durch die Biologie und Naturwissenschaften, vgl. Kap. 2.2.1.4, S. 36), wurden die Schülervorstellungen in der Unter-, Mittel und Oberstufe untersucht. Diese Längsschnittstudie ermöglicht Einblicke in die Vorstellungen von Schülern, die sowohl laut Richtlinien des Sachunterrichts (vgl. Kap. 2.2.2.1, S. 38) noch gar nicht (Fünftklässler) oder aber unterschiedlich intensiv zum naturwissenschaftlichen Thema Energie unterrichtet wurden (Acht- bis Dreizehntklässler). Sie dokumentiert somit das für Unterrichtsplanung wichtige Spektrum der Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" in den Jahrgängen. Durch Analyse von Art und Umfang der möglichen Veränderungen können Vermutungen zu den Ursachen der Vorstellungsinhalte abgeleitet werden.

Für den schulpraktischen Nutzen von ermittelten Schülervorstellungen ist es entscheidend, ob das Auftreten bestimmter Vorstellungen von bestimmten Faktoren abhängig ist. Denkbar wäre z.B., dass Jungen über ein deutlich anderes Vorstellungsspektrum zu "Energie im biologischen Kontext" verfügen als Mädchen oder dass Schüler, die naturwissenschaftlich interessiert sind, mehr aus naturwissenschaftlicher Sicht richtige Vorstellungsinhalte besitzen als Schüler ohne ein solches Interesse.

Um Vorhersagen treffen zu können, welche Vorstellungsinhalte in zu unterrichtenden Schülergruppen verbreitet sind, und dann mit diesen Informationen die Schüler im Unterricht möglichst auf Grundlage ihrer tatsächlichen Vorstellungen unterrichten zu können, wurden neben dem Faktor "Jahrgangstufe", der sich aufgrund der Längsschnittstudie automatisch ergab, die folgenden Faktoren in Hinblick auf ihren Einfluss auf die Inhalte und Auftrittshäufigkeit von Schülervorstellungen untersucht:

² Schülervorstellungen mit einer relativ hohen Auftrittshäufigkeit aber relativ niedriger Kontextflexibilität (eher Vorstellungen zu speziellen Aspekten des Themas) erscheinen dabei für die Unterrichtsgestaltung ähnlich wichtig wie Schülervorstellungen mit relativ niedriger Häufigkeit und relativ hoher Kontextflexibilität (eher Vorstellungen zu übergreifenden Aspekten des Themas). (Zur Einschätzung, welche Werte als hoch bzw. niedrig einzuschätzen sind, vgl. Kap. 4.5.6.5, S. 205).

Geschlecht

Unterschiedliche Einstellungen von Jungen und Mädchen zum naturwissenschaftlichen Unterricht verbunden mit unterschiedlichen Verhaltensweisen (vgl. LÖWE 1992; LANDESINSTITUT FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG 1993) lassen die Vermutung zu, dass auch die Schülervorstellungen zum Themenkomplex "Energie im biologischen Kontext" vom Faktor Geschlecht beeinflusst werden dürften.

Naturwissenschaftliches Interesse

Durch die Selbsteinschätzung der Probanden bezüglich ihres naturwissenschaftlichen Interesses sollte der Einfluss dieses Faktors untersucht werden. Gefragt wurde dabei nach dem "allgemeinen Interesse" ohne Hinweise auf bestimmte Fachgebiete. Dieser Aspekt des "allgemeinen Interesses" ist in Abgrenzung zum Zustandsaspekt (situationales Interesse) dem Dispositionsaspekt des Interesses zuzuordnen. KRAPP (1992) kennzeichnet dieses Interesse als "Persönliches/individuelles Interesse". Aufgrund zahlreicher Studien (GEHLHAAR, KLEPEL & FANKHÄNEL 1999; LÖWE 1992) ist zu vermuten, dass naturwissenschaftlich interessierte Schüler aufgrund der intensiveren Beschäftigung mit relevanten Themen ein weiteres und naturwissenschaftlich korrekteres Spektrum von Vorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" besitzen.

Quantität des naturwissenschaftlichen (insbesondere biologischen) Unterrichts

Jugendliche, die in ihrer Schulzeit durch die Wahl von naturwissenschaftlichem Differenzierungsunterricht in der Mittelstufe oder durch eine naturwissenschaftlich ausgerichtete Wahl von Grund- und Leistungskursen in der Oberstufe einen umfassenderen Unterricht in den naturwissenschaftlichen Fächern erteilt bekommen haben, dürften - in Anlehnung an die Erkenntnisse der Interessensforschung (LÖWE 1992) - über ein weiteres und naturwissenschaftlich korrekteres Spektrum von Vorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" verfügen.

Schul- und Lernumgebung (ländlicher oder städtischer Raum)

Bei einer Schul- und Lernumgebung im ländlichen Raum wird davon ausgegangen, dass die dort aufwachsenden Jugendlichen häufiger einen direkten und differenzierteren Kontakt zu biologischen Phänomenen haben als ihre Altersgenossen in städtischer Umgebung. Diese in Schule und Freizeit häufiger stattfindende Verarbeitung von Wahrnehmungen biologischen Inhalts (z.B. Beobachtungen beim Aufziehen von Tieren oder allgemein von Pflanzen, Tieren und menschlichen Tätigkeiten in der Natur, z.B. im Garten oder in der Landwirtschaft) könnte dazu führen, dass Schüler dieser Reizumgebung ein qualitativ und quantitativ anderes Spektrum von Vorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" besitzen als Schüler des städtischen Raumes. Dieser Hypothese widersprechen KLEIN & OETTINGER (2000): "Bei diesem Thema [Energie] sind keine wesentlichen Diskrepanzen zwischen ländlicher und urbaner Herkunft der Kinder zu erwarten."

Schulform

Eine unterschiedliche Schülerschaft und die Unterschiede in den Richtlinien und Lehrplänen der einzelnen Schulformen lassen vermuten, dass Schüler verschiedener Schulformen auch verschiedenartige Vorstellungen von Energie besitzen. Zu erwarten ist, dass die Gymnasiasten der Sekundarstufe I aufgrund des höheren Niveaus in den relevanten Unterrichtsfächern (vgl. Richtlinien- und Lehrplananalyse in Kap. 2.2.2.1, S. 38) ein breiteres Spektrum an Vorstellungen und weniger Fehlvorstellungen besitzen als Schüler der anderen Schulformen. Diese Vermutung wird durch einen Vergleich zwischen den Gymnasiasten und Gesamtschülern der Sekundarstufen I überprüft. Ein Vergleich zwischen den Oberstufenschülern dieser Schulformen wird ebenfalls vorgenom-

men. Da für alle Schüler der Sekundarstufe II in NRW die gleichen Richtlinien und Lehrpläne gelten, dürften dennoch auftretende signifikante Unterschiede auf die unterschiedlichen Lehrleistungen der Sekundarstufe I zurückzuführen sein.

Die Ergebnisse bezüglich dieses Faktors können im Rahmen dieser Arbeit nur tendenziellen Charakter besitzen, da in der Hauptuntersuchung aus organisatorischen Gründen nur die Schüler einer Gesamtschule befragt wurden.

Wegen der angestrebten Längsschnittstudie wurden die Untersuchungen auf die beiden allgemeinbildenden öffentlich-rechtlichen Schulformen Gymnasium und Gesamtschule beschränkt, in der Schüler von der 5. bis zur 13. Jahrgangsstufe unterrichtet werden. Da jedoch die Gesamtschule nicht in allen Bundesländern als Schulform zu finden ist, wurde der Untersuchungsschwerpunkt auf die Schülervorstellungen von Gymnasiasten gelegt.

Wegen der von Bundesland zu Bundesland unterschiedlichen Richtlinien und Lehrpläne bleibt des weiteren die Erhebung der Schülervorstellungen sowie die Entwicklung von Leitlinien zur unterrichtlichen Umsetzung der erzielten Ergebnisse auf Schüler bzw. Schulen des Landes NRW beschränkt.

Bei nachgewiesenem Einfluss eines oder mehrerer der genannten Faktoren müssten die Unterrichtskonzeptionen der jeweiligen Klassen- bzw. Kurssituation angepasst werden (z.B. getrennte Unterrichtsmaterialien für Jungen und Mädchen oder für Land- und Stadtschüler.)

Übergreifende Ziele dieser Studie

1. Ermittlung der Schülervorstellungen zum Themenbereich "Energie im biologischen Kontext" bei Gymnasiasten (und Gesamtschülern) der Sekundarstufe I und II in NRW, um sowohl Art und Inhalt der Vorstellungen (Qualitativer Aspekt) als auch die Auftrittshäufigkeit und Kontextflexibilität (Quantitativer Aspekt) zu dokumentieren.
2. Analyse des Einflusses der Faktoren Jahrgangsstufe, Geschlecht, naturwissenschaftliches Interesse, Quantität des naturwissenschaftlichen Unterrichts sowie Wohn-/Lernumgebung auf Inhalt, Auftrittshäufigkeit und Kontextflexibilität der Schülervorstellungen.

4.2.3 Grundvorstellungen als Ermittlungsziel

Für die Planung und Durchführung von *Gruppenunterricht* unter besonderer Berücksichtigung der themenrelevanten Schülervorstellungen erscheinen in Hinblick auf die Ausführungen in Kapitel 3 insbesondere diejenigen Wissensseinheiten zum Themenbereich "Energie im biologischen Kontext" von Bedeutung, die im Vergleich zu der Gesamtheit aller Wissensseinheiten des Themenbereichs "Energie im biologischen Kontext" in Gedankengängen der Schüler relativ häufig aktiviert werden (in Anlehnung an BURBULES & LINN 1991³). Für die beabsichtigte Effizienzsteigerung sind dabei diejenigen Wissensseinheiten wichtig, die sowohl bei *einzelnen Schülern* in Bezug

³ Die vertretene Ansicht bezüglich der Schülervorstellungen in Lerngruppen wird kontrovers diskutiert. So werden Schülervorstellungen, die wiederholt auftreten, auch von SCHLETTER (1998), der eine ähnlich praxisnahe Arbeit zu neurophysiologischen Inhalten durchführte, als entscheidend eingestuft: "Dabei wird in der Regel nur auf solche Vorstellungen eingegangen, die von der Mehrzahl der befragten Schülerinnen und Schüler geäußert wurden. Diese Vorstellungen stellen eine wichtige Grundlage für die Entwicklungsarbeiten an den Unterrichtsmaterialien für die Hauptstudie dar. Vorstellungen, die nur von wenigen oder einzelnen Schülerinnen und Schülern genannt wurden, konnten in der Regel in den Unterrichtsmaterialien nicht berücksichtigt werden.". GROPPENGIEBER (1997) vertritt in seiner Untersuchung von Schülervorstellungen zum Sehen eine andere Auffassung: "Quantitative Aussagen über Vorstellungen zum Sehen, wie sie im Rahmen einer repräsentativen Befragung gewonnen werden könnten, sind dagegen weder für diese Arbeit sinnvoll noch für praktischen Unterricht hilfreich: In realen Lerngruppen ist weder eine statistische Verteilung von individuellen Denkstrukturen zu erwarten, noch werden Schüler häufig sein, die >durchschnittliche< Vorstellungen vom Sehen in ihrem Denken vereinen. In einer Unterrichtssituation handelt es sich um individuelle Schüler mit individuellen Vorstellungen."

auf *unterschiedliche Problemsituationen* als auch bei *vielen Schülern* in Bezug auf *eine Problemsituation* häufig Elemente von Gedankengängen und damit auch häufig Elemente von Vorstellungen sind.

Obwohl die diesbezüglichen Schülerbefragungen nur Momentaufnahmen von Teilen der Schülervorstellungen einer begrenzten Population sind, wurde bei denjenigen Elementen, die unabhängig von den ermittelten persönlichen Daten der Befragten (wie etwa Geschlecht, naturwissenschaftliches Interesse, usw.) häufig auftreten, davon ausgegangen, dass sie auch in zukünftigen Überlegungen zu "Energie im biologischen Kontext" bei anderen Schülern entsprechend häufig wieder angewandt werden⁴.

Wie können die Elemente der Vorstellungen gefunden werden, die von Schülern häufig in Gedankengängen zu "Energie im biologischen Kontext" eingesetzt werden?

Nach der Modellvorstellung der schemaorientierten Wissensrepräsentation ist die Intensität, mit der verschiedene Wissenseinheiten zu anderen Wissenseinheiten vernetzt (assoziativ verknüpft) sind, durch die beiden Aspekte Verknüpfungsmuster und Verknüpfungsintensität gekennzeichnet: Wissenseinheiten sind intensiv vernetzt,

1. wenn sie zu vielen unterschiedlichen Wissenseinheiten (evtl. verschiedener Wissensbereiche) assoziative Verknüpfungen aufweisen (Aspekt der Verknüpfungsmuster) oder/und
2. wenn die assoziativen Verknüpfungen einen niedrigen Schwellenwert besitzen (Aspekt Verknüpfungsintensität) (vgl. S. 77f).

Beide Eigenschaften der Netzwerkstruktur beeinflussen, wie leicht eine Wissenseinheit erinnert und damit wie häufig sie für Gedankengänge aktiviert werden kann⁵.

Gesucht werden muss demnach nach Wissenseinheiten zu "Energie im biologischen Kontext",

- die mit möglichst vielen anderen Wissenseinheiten oder/und
- durch assoziative Verknüpfungen mit niedrigem Schwellenwert verknüpft sind und
- bei denen diese assoziativen Verknüpfungen bei möglichst vielen Schülern hinsichtlich der Verknüpfungsmuster und Verknüpfungsintensität ähnlich sind.

Derartige Wissenseinheiten, die als Grundelemente verschiedener Vorstellungen wiederholt auftreten, werden nachfolgend als Grundvorstellungen (abgekürzt GV) bezeichnet. Grundvorstellungen werden dabei nicht als statische, fest bestehende Wissensstruktur aufgefasst, sondern als eine häufiger auftretende deklarative Wissenseinheit der Assoziationen zu bestimmten Themenbereichen.

Bei Grundvorstellungen, die zu *vielen* Wissenseinheiten *verschiedener* Wissensbereiche Verknüpfungen aufweisen und deshalb eine hohe Kontextflexibilität besitzen, wird es sich um besonders fest verwurzelte Vorstellungsinhalte handeln, die bereits in verschiedenen Erfahrungsbereichen zur Deutung und Erklärung von Eindrücken erfolgreich benutzt werden konnten und deshalb auch in zukünftigen Situationen bevorzugt aktiviert werden dürften. Derartige Wissenseinheiten sind

⁴ Die Existenz individueller kontextbezogener Bedeutungszuweisung wird dabei nicht berührt (vgl. hierzu die Ausführungen in Kap. 3.1.3, S. 61f).

⁵ Über die Aspekte Verknüpfungsmuster und Verknüpfungsintensität lässt sich allerdings keine Aussage über die fachwissenschaftliche Relevanz der Vernetzungen treffen. So können z.B. Assoziationen zwischen Begriffen neben einem fachwissenschaftlichen Hintergrund auch durch Aspekte wie Emotion, häufiges Auftreten (z.B. beim Auswendiglernen, häufiges Hören in der Werbung) oder durch Besonderheiten wie z.B. ein einschneidendes Erlebnis (Unfall) bedingt sein.

laut Kernaussage 2 und 3 (vgl. S. 57f) als besonders viabel zu kennzeichnen und dürften im Unterricht schwer zu beeinflussen sein⁶.

An einem Beispiel soll die Eigenschaft der hier als Grundvorstellungen gekennzeichneten Wissensseinheiten verdeutlicht werden:

Wenn Schüler danach gefragt werden, wie die Körperwärme verschiedener Lebewesen zustande kommt, sind verschiedene Elemente in ihren Aussagen denkbar, z.B.: "Die Wärme ist durch Reibung entstanden"; "Die Wärme ist Abwärme chemischer Reaktionen."; "Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik sagt Wärmeentstehung bei bestimmten Energieumwandlungsprozessen voraus.". Die Wissensseinheit "Wärme entsteht bei Reibung." ist von den gegebenen Beispielen - wie die konkreten Untersuchungen zeigten (vgl. Kap. 4.5.6.1, S. 176f) - ein häufig wiederzufindendes Element bei Schülerantworten (Schülervorstellungen) - und das, obwohl die Schülerantworten in Hinblick auf andere Gestaltungselemente wie etwa Wort- oder Beispielwahl völlig unterschiedlich und individuell konstruiert sind. Die Wissensseinheit "Wärme entsteht bei Reibung." scheint mit dem Begriff "Wärme" - hier speziell "Körperwärme" - demnach eng assoziativ verknüpft zu sein. Da dieses Element bei vielen verschiedenen Schülern zur Erklärung völlig unterschiedlicher Phänomene auftaucht (hohe Konextflexibilität) - Wärmeentwicklung beim Menschen (Sporttreiben, Händereiben bei Kälteempfinden), Wärmeentwicklung im Pflanzenreich (Schneeschnelze um wachsende Schneeglöckchen, vgl. BURGER 1991) -, wird es als Grundvorstellung eingestuft.

4.3 Methodisches Vorgehen

Denkvorgänge, Vorstellungen und Wissen, allgemein kognitive Strukturen und Prozesse, entziehen sich weitestgehend der objektiven Betrachtung (vgl. Textbox und MAICHLE 1985). Aus diesem Grund gibt es keine verbindliche Methode, die allgemein zur Ermittlung von Schülervorstellungen angewandt wird: Jede Untersuchung in diesem Themenfeld hat ihr konkret an Forschungsgegenstand und Fragestellung ausgerichtetes eigenes Untersuchungsdesign.

| |
|--|
| Nur Vorstellungen über Vorstellungen sind möglich. |
|--|

Leitend für die Entwicklung einer angemessenen Untersuchungsmethode ist nach FLICK (1995) und MAYRING (1990) einerseits allgemein eine schlüssige Begründung in Hinblick auf den Forschungsgegenstand, hier die Ermittlung von Schülergrundvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext", und andererseits den theoretischen Bezugsrahmen, hier die Bemühungen, den Biologieunterricht im traditionellen Klassen- bzw. Kursverband effektiver zu gestalten.

Nachdem in Kapitel 4.2.3 mit Hinweis auf die Ausführungen in Kapitel 3 der Forschungsgegenstand genauer bestimmt wurde, wird anschließend ein Überblick über den grundsätzlichen Ablauf der Untersuchungsmethode gegeben.

Gliederung der Studie in Voruntersuchung und Hauptuntersuchung

Zur Ermittlung der Vorstellungen zum Themenbereich "Energie im biologischen Kontext" werden den Schülern in der Hauptuntersuchung Aufgaben vorgelegt, in denen sie naturwissenschaftliche Phänomene möglichst wissenschaftlich korrekt erklären sollen. Durch einen Vergleich der gegebenen Antworten eines Schülers zu verschiedenen Fragen bzw. aller Schülerantworten untereinander werden auf Grundlage der wiederkehrenden Vorstellungselemente die Grundvorstellungen

⁶ Die statistische Häufigkeit, mit der bestimmte Wissensseinheiten in den Gedankengebäuden der Schüler auftauchen, wird im Rahmen dieser Arbeit als *Indiz* für ihre Relevanz in Hinblick auf Deutung und Erklärung von Sinneseindrücken angenommen. Statistische Häufigkeit und Relevanz der Wissensseinheiten werden jedoch *nicht gleichgesetzt*.

abgeleitet (nähere Erläuterungen hierzu in Kap. 4.5.3.3, S. 155f). Die in den Aufgaben ausgewählten naturwissenschaftlichen Phänomene sind inhaltlich nicht an bestimmte Themen gebunden und könnten deshalb *theoretisch* aus *allen* Bereichen der Biologie stammen (Stoffwechselphysiologie, Botanik, Ethologie, ...). Die Überlegungen zur netzwerkartigen Repräsentation des Wissens lassen jedoch nur eine begrenzte Auswahl an Phänomenen zur Ermittlung von Grundvorstellungen geeignet erscheinen: Zu vermuten ist nämlich, dass sich in den Gehirnen der Schüler nicht zu allen Sachgebieten der Biologie Wissensseinheiten entwickelt haben, die mit den Wissensseinheiten zu Energie verknüpft sind. Würden Schüler innerhalb von Untersuchungen zu ihren Energievorstellungen mit Fragen bzw. Aufgaben aus solchen Themenbereichen konfrontiert, zu denen die zugehörigen Wissensseinheiten keine, wenige bzw. nur schwache Verknüpfungen zu den für das Thema Energie relevanten Wissensseinheiten besitzen, so könnten unter Antwortdruck stehende Probanden evtl. "ad hoc-Phantasieantworten" abgeben - Antworten, die den Charakter von vorübergehenden, aus der Untersuchungssituation erwachsenen problemspezifischen Ideen haben (vgl. ENGEL CLOUGH & DRIVER 1986). Derartige Antworten würden das Aufstellen von Grundvorstellungen im Sinne der in Kapitel 4.2.3 (S. 117f) genannten Eigenschaften von Grundvorstellungen erschweren. Um für die Formulierung von Grundvorstellungen wenig hilfreiche Schüleräußerungen zu vermeiden und damit eine hohe Validität der Grundvorstellungen zu erreichen, soll das weite Spektrum der möglichen Themenbereiche für die inhaltliche Gestaltung der Hauptuntersuchung eingegrenzt werden. Berücksichtigung finden nur diejenigen Themenbereiche, aus denen die zugehörigen Wissensseinheiten von möglichst vielen Probanden assoziativ mit den für das Thema Energie relevanten Wissensseinheiten verknüpft sind.

Vor der Hauptuntersuchung soll deshalb eine Voruntersuchung durchgeführt werden (Gliederung vgl. Textbox). In ihr werden die Themenbereiche ermittelt, die von Schülern mit den Ausdrücken "Energie" und "Biologie" in Zusammenhang gebracht werden.

Folgende Ausgangshypothese liegt dem methodischen Vorgehen der Voruntersuchung zugrunde: Wissensseinheiten - organisiert in Schemata - sind, sofern es sich um propositionales deklaratives Wissen handelt, an Worte gebunden (vgl. Abb. 3-11, S. 75). Grundvorstellungen aus einem Wissensbereich können am besten in den Themenbereichen untersucht werden, in denen die ausgewählten

Probanden möglichst viele bzw. starke gedankliche Verbindungen zwischen themenrelevanten Worten besitzen (vgl. Kap. 4.2.3, S. 118), die Aspekte von Verknüpfungsstärke und -intensität). Assoziiert z.B. ein Schüler zum Terminus Energie viele Ausdrücke zum Thema Photosynthese, so ist unter der Annahme einer netzwerkartigen Wissensrepräsentation anzunehmen, dass sich seine Vorstellungen zu Energie besonders gut durch Aufgaben und Fragen ermitteln lassen, die energetische Aspekte zum Themenfeld Photosynthese beinhalten.

Übergeordnetes Ziel der Voruntersuchung ist es deshalb, zum inhaltlichen Ausgangspunkt der Untersuchung, nämlich zum Themenbereich "Energie im biologischen Kontext", diejenigen an-

| Zusammenhang zwischen Voruntersuchung und Hauptuntersuchung | |
|--|--|
| <u>Voruntersuchung</u> | |
| Ziel: | Ermittlung der Themenfelder, die Schüler mit "Energie" und "Biologie" assoziieren, um Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" effektiv zu untersuchen. |
| Methode: | Assoziationstests |
| <u>Hauptuntersuchung</u> | |
| Ziel: | Ermittlung verbreiteter Vorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" durch Beachtung der in der Voruntersuchung aufgedeckten Themenfelder |
| Methoden: | Fragebögen und Interviews |

grenzenden Themenfelder zu ermitteln, die durch viele Ausdrücke mit dem Kernfeld (den Wissenseinheiten zu Energie) gedanklich eng verknüpft sind. Mit Hilfe einer Assoziationsbefragung werden die gesuchten Themenfelder gefunden.

In der anschließenden Hauptuntersuchung werden durch Aufgaben und Fragen zu den relevanten Themenfeldern die gesuchten Grundvorstellungen zum Themenkomplex "Energie im biologischen Kontext" ermittelt und ihre Auftrittshäufigkeit und Kontextflexibilität bestimmt.

In Hinblick auf die angestrebte Längsschnittstudie an Schülern über die komplette Schullaufbahn von der 5. bis 13. Jahrgangsstufe sollte durch die Voruntersuchung geklärt werden, ob die zu suchenden Themenfelder bei allen Schülern, die in der Hauptuntersuchung befragt werden sollen, ähnlich sind. Sollten die Themenfelder von den angegebenen Faktoren abhängig sein, müssten die Fragestellungen der Hauptuntersuchung für die sich ergebenden Schülergruppen entsprechend der Ergebnisse angepasst werden. Bei nicht vorhandenen oder geringen Einflüssen der Faktoren auf die Themenfelder könnte ein Fragebogen für alle Schüler eingesetzt werden.

4.4 Voruntersuchung: Ermittlung des assoziativen Umfeldes des Ausdrucks Energie

4.4.1 Ziele und Fragestellungen der Voruntersuchung

Im Rahmen einer Voruntersuchung sollte mit Hilfe einer Assoziationsbefragung herausgefunden werden,

1. welche Worte zum Stichwort Energie assoziiert werden und welchen Themengebieten aus dem Bereich der Biologie sich diese Worte zuordnen lassen (Aspekt Spektrum der Assoziationen) und
2. ob die Assoziationen der Worte von den unterrichtsrelevanten Faktoren Jahrgangsstufe, Geschlecht, naturwissenschaftliches Interesse, Muttersprache, Quantität des naturwissenschaftlichen (insbesondere biologischen) Unterrichts, Schul- und Lernumgebung sowie Schulform abhängig sind (Aspekt Einfluss bestimmter Faktoren auf das Assoziationsspektrum).

Anhand folgender Fragen sollen die genannten beiden Aspekte näher untersucht werden:

Spektrum der Assoziationen

1. Welche Worte assoziieren Schüler mit dem Stichwort Energie?
Welche Worte werden spontan genannt?
Welche Worte werden nach längerer Assoziationszeit genannt?
2. Welche Stellung haben assoziierte Worte, die der "belebten Natur" zuzuordnen wären, sowie naturwissenschaftliche Fachtermini und spezielle Themenbereiche aus der Biologie? Welchen Themenfeldern können die assoziierten Worte zugeordnet werden?

Einfluss bestimmter Faktoren auf das Assoziationsspektrum

3. Entwickelt sich das assoziative Umfeld zum Stichwort Energie während der Schulzeit von der SI zur SII? Wenn ja, welche Veränderungen sind in welchem Maße festzustellen?
4. Wie wirken sich die Faktoren Geschlecht, Muttersprache, Quantität des naturwissenschaftlichen Unterrichts, naturwissenschaftliches Interesse der Schüler, Schul- und Lernumgebung sowie Schulform auf das assoziative Umfeld des Ausdrucks Energie aus?

Bewirkt ein Mehr an Biologieunterricht auch ein Mehr an assoziierten Worten aus biologischen Themenbereichen?

5. Hat sich das assoziative Umfeld zum Stichwort Energie im Vergleich zu bisherigen Befragungen verändert und wenn ja, wie?

4.4.2 Stand der Forschung zu Assoziationstests zum Thema Energie

Frühere Assoziationsbefragungen im deutschsprachigen Raum zum Thema Energie wurden u.a. von DUIT (1986), JENELTEN-ALLKOFER (1979), JUNG (1978, 1978b) und SCHAEFER (1982, 1983) durchgeführt. Sie helfen bei der Beantwortung der oben aufgeführten Fragen jedoch nur bedingt weiter, da sie mit Eingrenzungen bezüglich der Altersstufen der befragten Probanden und ohne genauere Differenzierung bezüglich der oben genannten Faktoren durchgeführt wurden.

In allen angeführten Untersuchungen fielen nur wenige Worte in den Bereich des Biologischen. Äußerungen aus den Gebieten der Physik und Technik dominierten eindeutig.

Exemplarisch sind die Ergebnisse der Studien mit Oberstufenschülern von DUIT und SCHAEFER genauer vorgestellt:

SCHAEFER (1982, 1983) führte zwischen 1975 und 1977 eine Assoziationsbefragung zum Stichwort Energie mit 113 SII-Schülern an Gymnasien in Schleswig-Holstein durch. Alle befragten Schüler hatten mindestens 3 Jahre lang Physikunterricht in der SI und belegten in der Oberstufe den Grund- oder Leistungskurs Biologie. Die auf die Frage "Was fällt Ihnen spontan, ohne Nachdenken, zum Stichwort Energie ein?" genannten Antworten wurden gesammelt und nach der Häufigkeit geordnet, mit der sie genannt worden waren. Der prozentuale Anteil der 14 häufigsten spontanen Äußerungen wurde berechnet: Kraft (24%), Strom (17,6%), Wasser (8,4%), Wärme (7,3%), Arbeit (6,3%), Leistung (6,3%), Elektrizität (4,3%), Bewegung (4%), Atom/Kernenergie (4%), Licht (3,7%), Traubenzucker (3,3%), Sonne (3,3%), Kraftwerk (3,3%) und stark/Stärke (3%). SCHAEFER hält in seinen Ausführungen zu diesen Ergebnissen fest: "Assoziationen aus dem Bereich Chemie und Biologie sind sehr spärlich vorhanden. Dies ist insofern verwunderlich, als die befragten Schüler solche waren, die ihren naturwissenschaftlichen Unterricht auf Biologie verlegt und bereits Grund- und Leistungskurse in Physiologie und Ökologie hinter sich hatten." (SCHAEFER 1983). Nur der Ausdruck Traubenzucker kann als einziger der 14 Worte eindeutig dem Bereich Biologie zugeordnet werden. Bei der Analyse des gesamten Assoziationspektrums fallen nur etwa 12% aller Antworten in den Bereich des Biologischen, während Äußerungen aus den Gebieten Physik/Technik mit 72% klar dominieren. Dieses Ergebnis, so SCHAEFER, bestätigt die von DUIT und v. ZELEWSKI (1979) abgeleitete Hypothese, dass die Mehrzahl der Schüler Energie als technisch-wirtschaftliche Größe, als Industrieprodukt bzw. als eine Art "Luxusartikel" ansieht, der uns das Leben schöner und bequemer macht. Kaum ein Schüler sieht Energie in seiner biochemischen Form als Grundlage des Lebens selbst.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt SCHAEFER (1983) bei seiner Untersuchung, die in dem Aufsatz "The Concept Triangle "Energy-Information-Order" in the Heads of our Students" veröffentlicht worden ist. Hier wurden Assoziationsbefragungen zum Ausdruck Energie an zwei unterschiedlichen Probandengruppen durchgeführt. Eine Untersuchung fand an 156 norddeutschen "Biology-students" statt, die zwischen 16 und 23 Jahren alt waren. Die andere Befragung wurde an 112 16 bis 18 jährigen philippinischen "High school-Schülern" vorgenommen. Die jeweils 14 bzw. 16 am häufigsten genannten Worte wurden in einer Übersicht zusammengestellt. Die Reihenfolge der von den deutschen Biologiestudenten genannten Worte war (Prozentangaben wurden nicht gemacht): force, current, atom/atomic power/atomic power station, heat, work, water, sun, power,

light, waste, save, sports, dextrose, strong/strength. Auch bei diesen Untersuchungen befinden sich die wenigen Worte aus dem biologischen Bereich auf den letzten Plätzen.

DUIT (1986) führte an Kieler Gymnasien eine Assoziationsbefragung mit 147 Schülern der 6. Jahrgangsstufe durch. Zu den am häufigsten genannten Worten zählen: Strom (44%), Öl (18%), Energiesparen (14%), Licht (14%), Kraft (12%), Sonne (12%), Benzin (10%) und Wasser (10%). Die Prozentzahlen geben hierbei den Anteil der Schüler an, die das betreffende Wort genannt haben. Die insgesamt 457 gegebenen Assoziationen wurden von DUIT in Kategorien eingeteilt. Es ergab sich dabei folgende Rangliste: technische Geräte (18%), Strom (14%), Treibstoffe (12%), Worte aus der Arbeitswelt und Gesellschaft (11%), Kraftwerke (7%), Sonne, Licht und Kraft (jeweils 4%), Wasser (3%) und Energieformen und Vorgänge (jeweils 2%). Die Prozentangaben geben hier die Häufigkeit bezogen auf die Gesamtzahl der Assoziationen an. Zusätzlich zu der oben geschilderten Befragung bat Duit die Schüler, Beispiele für "Energie" zu nennen. Die Antworten wurden auch hier in Kategorien eingeteilt. Von den gegebenen Antworten fielen auf die einzelnen Bereiche: Dinge (39%), kein Beispiel (19%), Vorgänge (15%), physikalische Termini (14%), Phänomene (9%) und Eigenschaften (4%). Schlüsselt man die Kategorie "Vorgänge" wieder auf, so zeigt sich, dass 13% der Antworten dieses Oberbegriffs körperliche Tätigkeiten beschreiben. 92% dieser Energiebeispiele fielen auf das Wort "bewegen".

4.4.3 Entwicklung des Untersuchungsdesigns für die Assoziationsbefragung

Assoziationsbefragungen können schriftlich in Form eines Fragebogens oder mündlich in Form eines Interviews durchgeführt werden (zur Methode vgl. z.B.: HOFFMAN, JUNG & WIESNER 1975; JUNG 1981; MAICHLE 1985; WHITE & GUNSTONE 1992; SCHAEFER 1992).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde das assoziative Umfeld des Ausdrucks Energie mit Hilfe schriftlicher Assoziationsbefragungen ermittelt. Die Möglichkeit, Assoziationen mündlich in Interviews zu sammeln, hätte zwar rechtschreibschwachen Schülern ein leichteres und angstfreieres Äußern von Worten ermöglicht. Allerdings konnte aus organisatorischen Gründen bei der angestrebten hohen Probandenzahl⁷ diese Erhebungsmethode nicht angewandt werden. Darüber hinaus ermöglicht die Assoziationsbefragung in schriftlicher Form einen direkten Vergleich zu älteren, ebenfalls schriftlich erhobenen Datensätzen anderer Autoren.

Zur Frage "Welche Worte fallen Dir zum Begriff⁸ "Energie" ein?" sollten die Schüler ihre freien Assoziationen schriftlich festhalten.

Aufgrund früherer Assoziationsbefragungen zum Thema Energie war zu erwarten, dass die Schüler nur sehr wenige Assoziationen aus dem Bereich der Biologie nennen. Um dennoch herauszufinden, welche biologischen Themenbereiche mit dem Wort "Energie" gedanklich verknüpft werden, wurden bei unserer Untersuchung zwei Wege beschritten.

1. Die Assoziationszeit wurde statt mit 30 Sekunden, wie häufig in der Literatur beschrieben, in unserer Befragung mit 4 Minuten bemessen. Nach 30 Sekunden wurden die Schüler gebeten, eine Markierung in ihrer Liste der assoziierten Worte zu setzen, so dass bei der Auswertung insgesamt drei Zeitzonen berücksichtigt werden können: a) das Erstwort, b) spontane Assoziationen in den ersten 30 Sekunden und c) Worte, die nach der 30-Sekundenmarke assoziiert wurden.

⁷ Um eine Vergleichbarkeit der Assoziationstests dieser Studie mit den in Kapitel 4.4.2 vorgestellten Assoziationstests gewährleisten zu können, sollen pro analysiertem unterrichtsrelevanten Faktor (vgl. S. 121, Ziel 3) möglichst deutlich über 100 Probanden befragt worden sein (vgl. auch Durchführung der Assoziationsbefragung, S. 124).

⁸ Eine Unterscheidung zwischen "Terminus" und "Begriff" erscheint in der Alltagssprache der Schüler nicht nötig.

2. Zusätzlich zur Befragung zum Thema Energie im allgemeinen wurde im Anschluss eine zweite, ergänzende Assoziationsbefragung zum Wortpaar Energie - Biologie durchgeführt. Die Aufforderung an die Schüler, nur Worte aus der Schnittmenge der Bereiche Energie und Biologie zu nennen, sollte zu differenzierteren Aussagen führen, welche gedanklichen Zusammenhänge zwischen diesen beiden Worten bestehen. Die Hierarchie der biologischen Worte und Themenbereiche untereinander sollte so besser ersichtlich werden.

Die Untersuchungsfrage zu diesem zweiten Test lautete: "Welche Worte fallen Dir ein, die zum Begriff "Energie" und gleichzeitig zum Begriff "Biologie" passen?".

Die Assoziationen zur ersten Fragestellung sollten nicht durch die Möglichkeit, die zweite Fragestellung bei der Beantwortung der ersten Frage bereits zu kennen, beeinflusst werden (Möglichkeit zur freien Assoziation). Diese Forderung wurde dadurch erfüllt, dass den Probanden keine vorgedruckten Befragungsbögen vorgelegt wurden, sondern die jeweiligen Lehrkräfte, die den Test durchführten, die Assoziationsaufgaben für die beiden Beantwortungszeiträume einzeln nacheinander vortrugen.

Um die Assoziationen der befragten Schüler in Hinblick auf die unter Kapitel 4.4.1 (S. 121) genannten Faktoren zu untersuchen, wurden die Probanden vor Untersuchungsbeginn gebeten, Angaben zu ihrer Person zu machen (vgl. Handreichung für die Lehrkräfte zur Durchführung der Assoziationsbefragung, Anhang I).

4.4.4 Durchführung der Voruntersuchung

Die Assoziationsbefragung fand zwischen Juli 1995 und Januar 1996 statt. Insgesamt nahmen über 2100 Schüler aus 8 Gymnasien und 4 Gesamtschulen teil. Befragt wurden in allen Schulen die Schüler der Jahrgangsstufen 5, 8 und 10 der Sekundarstufe I und die Oberstufenschüler der Jahrgänge 11, 12 und 13. Die für die Befragungen ausgewählten Schulen lagen im ländlich geprägten Raum Ostwestfalens und in den Innenstadtbereichen der Städte Bielefeld und Köln. Beide Tests (Stichwort: Energie, Stichwortpaar: Energie - Biologie) wurden mit denselben Probanden hintereinander zu Beginn einer Unterrichtsstunde durchgeführt. Durch die Nutzung von Verfügungs- oder Vertretungsstunden sollte vermieden werden, dass die Assoziationen dadurch beeinflusst wurden, dass sich die Schüler auf ein bestimmtes Unterrichtsfach einstellten. Geleitet wurden die Tests jeweils von den Klassen- bzw. Kurslehrern. Die Organisation der Testdurchführung an den einzelnen Schulen lag jeweils bei der Schulleitung. Dadurch sind unterschiedliche Befragungszeiträume für die Assoziationsbefragung zustande gekommen, die zwischen drei Tagen und über zwei Monaten lagen.

4.4.5 Auswertung der Assoziationsbefragung

Ausgewertet wurden die Daten von 1661 Gymnasiasten und 401 Gesamtschülern.

Die Probanden der Hauptassoziationsbefragung (Schulform Gymnasium) rekrutierten sich aus vier städtischen und vier ländlichen Gymnasien; 777 der Befragten waren Jungen und 884 Mädchen, 1513 dieser Gymnasiasten hatten Deutsch als Muttersprache, 148 Probanden besaßen andere Muttersprachen. Das Alter der befragten Schüler lag zwischen 10 und 20 Jahren.

Folgende zwei Hypothesen lagen der Auswertung der vorliegenden Assoziationsbefragung zugrunde:

- Zwischen Stichwort und den von Schülern assoziierten Worten besteht in der Mehrzahl ein gedanklicher Bezug. Nur wenige Schüler werden wahllos irgendwelche Worte nennen.

- Die Bedeutung der meisten assoziierten Worte ist bei einem Großteil der Befragten sehr ähnlich.

Ziel der Befragungen war es, aufgrund von häufig assoziierten Worten Themenfelder, d.h. weiter gefasste Sachgebiete zu ermitteln, die von den Schülern mit dem Stichwort Energie verbunden werden. Diese eher unscharf skizzierten Themenfelder sollten jeweils durch eine Vielzahl von Worten umrissen werden. Deshalb war es zunächst unerheblich, welche genaue Bedeutung die einzelnen assoziierten Worte für die Probanden haben. So war es z.B. für die Beschreibung eines möglichen Themenfeldes "Fortbewegungsmittel" entscheidend, ob Worte wie Auto, Schiff oder Fahrrad fielen. Weniger wichtig war es in diesem Zusammenhang, dass jeder der assoziierten Worte von allen Probanden eindeutig und korrekt definiert werden kann. Eine inhaltliche Ähnlichkeit bei den benutzten Worten reichte zur Bestimmung von Themenfeldern aus.

Die Auswertung der ersten Befragungen war durch den Versuch gekennzeichnet, alle assoziierten Worte wortwörtlich bei den Analysen zu berücksichtigen. Dieser Versuch scheiterte an dem weiten Spektrum der assoziierten Worte: Für die computergestützte Auswertung musste jedem assoziierten Wort eine Ziffer zugeordnet werden. Wegen der Vielzahl der genannten Worte wurde dieser Auswertungsmodus jedoch beim Stand von über 800 verschiedenen Ausdrücken modifiziert und damit eine aus organisatorischen Gründen notwendige Interpretation der Daten bereits zu diesem Auswertungsschritt in Kauf genommen: Es wurde eine Liste von 47 Oberbegriffen entwickelt, die so ausgewählt waren, dass erstens Synonyme zusammengefasst und zweitens Themenfelder möglichst klar und eindeutig umrissen waren. Die von uns gewählten Oberbegriffe deckten den größten Teil der häufig assoziierten Ausdrücke ab. Schwierigkeiten bei der Kategorisierung gab es bei einigen seltener genannten Worten. Derartige, nicht eindeutig einzuordnende Worte wurden unter "sonstiges" geführt (insgesamt ca. 10 % aller Assoziationen). Eine Liste der benutzten Oberbegriffe findet sich im Anhang II.

Nicht in die Liste der Oberbegriffe aufgenommen wurden naturwissenschaftliche Fachausdrücke. Gerade diese, in unserer Untersuchung meist aus dem Bereich der Biologie stammenden Fachausdrücke deuten nämlich an, welche biologischen Themenbereiche in welchem Ausmaß von den Schülern mit der Energiethematik gedanklich in Verbindung gebracht werden. Um diese mit Energie in engem Zusammenhang stehenden Themenbereiche zu ermitteln, wurden sämtliche naturwissenschaftlichen Fachtermini separat, d.h. zusätzlich zu den 47 Oberbegriffen aufgeführt. Unter "naturwissenschaftliche Fachtermini" werden im folgenden Organismen, deren Bestandteile und Produkte, biotische und abiotische Faktoren sowie naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten und Prozesse verstanden. Beispiele aus diesem Wortpool sind Atom, Herz, Muskulatur, Balz, Eiweiß, ADP/ATP, Molekül, Photosynthese, Osmose, Verdauung, RGT-Regel, usw. Insgesamt wurden von den Schülern 297 derartiger Fachausdrücke assoziiert (vgl. Anhang III).

4.4.6 Darstellung der Ergebnisse der Assoziationsbefragung

Die Darstellung der Ergebnisse ist nach den in Kapitel 4.4.1 aufgeführten zwei Aspekten "Spektrum der Assoziationen" und "Einflüsse bestimmter Faktoren auf das Assoziationsspektrum" gegliedert. Die in der Zielformulierung aufgestellten Fragen sind zur besseren Gliederung noch einmal angeführt.

Wenn nicht anders vermerkt, beziehen sich die folgenden Daten auf Schüler des Gymnasiums, der Schulform, auf der der Schwerpunkt der Hauptuntersuchung lag.

Spektrum der Assoziationen

1. Welche Worte aus welchen Themenbereichen assoziieren Schüler mit dem Ausdruck

Energie?

Welche Worte werden nach welcher Assoziationszeit wie häufig genannt?

Tab. 4-1: Assoziationen aller Unter- und Mittelstufenschüler zum Stichwort Energie

Die 10 am häufigsten assoziierten Worte und die 10 am häufigsten assoziierten naturwissenschaftlichen Fachtermini zum Stichwort Energie (N = 1021)

"Erstwort", "innerhalb 30 Sek.", "nach 30 Sek." und "Gesamt"

| Rangplatz aller Worte | Erstwort | relative Häufigkeit in % | innerhalb 30 Sekunden | relative Häufigkeit in % | nach 30 Sekunden | relative Häufigkeit in % | Gesamt | relative Häufigkeit in % |
|-----------------------------|------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|------------|--------------------------|
| 1. | Strom | 29,3 | Strom | 52,3 | Elek.gerät | 46,9 | Strom | 70,5 |
| 2. | Kraft | 10,2 | Kraft | 21,1 | Tätigkeit | 39,9 | Elek.gerät | 52,5 |
| 3. | Sonne | 6,6 | Licht | 19,6 | Fortbew.m. | 29,8 | Tätigkeit | 49,7 |
| 4. | Licht | 4,4 | Sonne | 16,1 | Stromkreis | 25,4 | Licht | 41,6 |
| 5. | Kraftwerk | 4,0 | Kraftwerk | 15,5 | Kraftwerk | 24,0 | Kraftwerk | 38,4 |
| 6. | E.formen | 2,9 | Wasser | 11,8 | Licht | 23,1 | Sonne | 36,4 |
| 7. | Naturwiss. | 2,7 | Tätigkeit | 11,5 | Zustb.d.M. | 22,0 | Zustb.d.M. | 35,5 |
| 8. | Sport | 2,5 | Wind | 10,5 | Sonne | 21,2 | Kraft | 35,3 |
| 9. | Zustb.d.M. | 2,2 | Naturwiss. | 10,1 | E.träger | 20,8 | Stromkreis | 34,2 |
| 10. | Stromspei. | 2,1 | Stromkreis | 9,8 | Sport | 20,7 | Fortbew.m. | 30,3 |
| Rangplatz naturw. Fachterm. | Erstwort | relative Häufigkeit in % | innerhalb 30 Sekunden | relative Häufigkeit in % | nach 30 Sekunden | relative Häufigkeit in % | Gesamt | relative Häufigkeit in % |
| 1. | Atome | 1,4 | Naturgew. | 4,0 | Naturgew. | 14,3 | Naturgew. | 17,8 |
| 2. | Naturgew. | 0,8 | Atome | 3,9 | Menschen | 8,6 | Menschen | 11,3 |
| 3. | Menschen | 0,7 | Menschen | 3,1 | Zuckerart | 4,9 | Atome | 7,0 |
| 4. | Quelle | 0,4 | Stärke | 2,4 | Tiere | 4,2 | Zuckerart | 5,9 |
| 5. | Stärke | 0,4 | Muskel | 1,2 | Pflanzen | 3,9 | Tiere | 4,8 |
| 6. | Vitamine | 0,4 | Zuckerart | 1,2 | Atome | 3,3 | Pflanzen | 4,1 |
| 7. | Anziehung | 0,3 | Vitamine | 1,1 | Natur | 3,0 | Muskel | 3,7 |
| 8. | Herz | 0,3 | U.verschm. | 1,3 | Muskel | 2,6 | Natur | 3,7 |
| 9. | Körper | 0,3 | Quelle | 1,0 | Vitamine | 2,0 | Stärke | 3,6 |
| 10. | Natur | 0,3 | Tiere | 0,8 | chem. Ele. | 1,7 | Vitamine | 3,0 |

| | | | |
|--------------|-------------|---|--|
| Abkürzungen: | chem. Ele. | = | chemische Elemente |
| | E.formen | = | Energieformen |
| | E.träger | = | Energieträger |
| | Elek.geräte | = | Elektrogeräte |
| | Fortbew.m. | = | Fortbewegungsmittel (Auto, Bus, Schiff, Rad, Kanu, Seifenkiste, ...) |
| | Naturgew. | = | Naturgewalten |
| | Stromspei. | = | Stromspeicher |
| | U.verschm. | = | Umweltverschmutzung |
| | Zustb.d.M. | = | Zustandsbeschreibungen des Menschen (z.B. fit, schwungvoll, lebendig, Spaß, Freude, Ausdauer, Streß ...) |

Am häufigsten assoziierten die befragten Gymnasiasten mit dem Stichwort Energie Worte aus dem Bereich der Elektrizität/Stromversorgung, und zwar Worte zu den Oberbegriffen Strom, Elektrogeräte, Kraftwerk, Energieformen (Bewegungsenergie, Lageenergie, Aufprallenergie, Ladungsenergie, chemische Energie), Energieträger (Kohle, Öl, usw.) und Stromspeicher (Batterien und Akkus). Der Ausdruck "Strom" wird dabei spontan und nach kurzem Überlegen signifikant am häufigsten genannt.

Die assoziierten Worte, die der "belebten Natur" zugeordnet werden können, bilden zwei Themenschwerpunkte: Der erste Themenschwerpunkt kann mit dem Ausdruck "Natur - abiotische Fakto-

ren und Organismen" umschrieben werden. Er wird durch die Worte "Natur", "Naturgewalten", "Licht", "Wind", "Wasser", "Tiere" und "Pflanzen" gekennzeichnet. Zum zweiten Themenschwerpunkt gehören Worte, die mit dem Menschen, seinen Tätigkeiten und Bedürfnissen eng verbunden sind. Drei Wortfelder sind hier besonders zu nennen a) der Oberbegriff "Tätigkeit" (hier wurden oft Verben, wie z.B. laufen, gehen, schreiben, essen, tanzen, schwimmen genannt), b) die Worte "Menschen", "Körper", "Herz" und "Muskel" und schließlich c) Worte, die dem Oberbegriff "Nahrungsmittel" zuzuordnen wären (Zuckerart, Vitamine).

Ordnet man die assoziierten Worte den Kategorien "biologischer Bereich" oder "technischer Bereich" zu, so überwiegen klar die Ausdrücke des "technischen Bereichs" (Strom, Elektrogeräte, Kraftwerk, Fortbewegungsmittel, Stromkreis, Atome).

Worte, die den Beginn des biologischen Energieflusses auf der Erde kennzeichnen, wurden sehr selten genannt (Zuckerart 5,9%; Pflanzen 4,1%; der Ausdruck "Photosynthese" wurde nur von einem einzigen Schüler assoziiert). Die Häufigkeit, mit der Ausdrücke des "biologischen Bereichs" genannt wurden, stieg zum Ende der Assoziationszeit deutlich an.

2. Welche Stellung haben assoziierte Worte, die der "belebten Natur" zuzuordnen wären, sowie naturwissenschaftliche Fachtermini und spezielle Themenbereiche aus der Biologie? Welchen Themenfeldern können die assoziierten Worte zugeordnet werden?

Tab. 4-2: Stellung naturwissenschaftlicher Assoziationen aller Unter- und Mittelstufenschüler zum Stichwortpaar Energie - Biologie

Die 10 am häufigsten assoziierten Worte zum Stichwortpaar Energie - Biologie (N = 1021)
"Erstwort", "innerhalb 30 Sek.", "nach 30 Sek." und "Gesamt"

| Rangplatz aller Worte | Erstwort | relative Häufigkeit in % | innerhalb 30 Sekunden | relative Häufigkeit in % | nach 30 Sekunden | relative Häufigkeit in % | Gesamt | relative Häufigkeit in % |
|-----------------------------|-------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|-----------|--------------------------|
| 1. | Sonne | 7,8 | Tiere | 22,7 | Tiere | 39,1 | Tiere | 56,5 |
| 2. | kein Wort | 7,3 | Tätigkeit | 20,4 | Tätigkeit | 35,9 | Tätigkeit | 51,3 |
| 3. | Tiere | 7,0 | Sonne | 18,7 | Pflanzen | 26,1 | Wasser | 36,5 |
| 4. | Menschen | 6,9 | Menschen | 17,5 | Wasser | 23,2 | Pflanzen | 36,1 |
| 5. | Tätigkeit | 6,3 | Wasser | 16,7 | Nahrung | 18,0 | Sonne | 31,8 |
| 6. | Wasser | 5,9 | Pflanzen | 13,6 | Menschen | 15,9 | Menschen | 30,7 |
| 7. | E.formen | 4,9 | Nahrung | 13,0 | Sonne | 15,9 | Nahrung | 28,3 |
| 8. | Pflanzen | 3,6 | Wind | 10,1 | Naturgew. | 14,0 | Naturgew. | 19,3 |
| 9. | Nahrung | 3,4 | E.formen | 9,5 | Sport | 13,2 | Sport | 19,2 |
| 10. | Kraft | 3,0 | Sport | 7,9 | Natur | 9,5 | Wind | 19,2 |
| Rangplatz naturw. Fachterm. | Erstwort | relative Häufigkeit in % | innerhalb 30 Sekunden | relative Häufigkeit in % | nach 30 Sekunden | relative Häufigkeit in % | Gesamt | relative Häufigkeit in % |
| 1. | Tiere | 7,0 | Tiere | 22,7 | Tiere | 39,4 | Tiere | 56,5 |
| 2. | Menschen | 6,9 | Menschen | 17,5 | Pflanzen | 26,1 | Pflanzen | 36,1 |
| 3. | Pflanzen | 3,6 | Pflanzen | 13,6 | Menschen | 15,9 | Menschen | 30,7 |
| 4. | Natur | 2,5 | Naturgew. | 7,3 | Naturgew. | 14,0 | Naturgew. | 19,3 |
| 5. | Muskel | 2,2 | Natur | 5,9 | Natur | 9,5 | Natur | 14,1 |
| 6. | Naturgew. | 1,6 | Muskel | 5,2 | Muskel | 5,2 | Muskel | 9,6 |
| 7. | Körper | 1,4 | Körper | 3,4 | Wachstum | 5,2 | Körper | 7,5 |
| 8. | Zuckerart | 1,1 | Zuckerart | 3,0 | Körper | 4,8 | Wachstum | 6,5 |
| 9. | Wachstum | 1,0 | Vitamine | 2,7 | Herz | 3,7 | Zuckerart | 5,2 |
| 10. | Experimente | 0,8 | Experimente. | 1,9 | U.verschm. | 3,2 | Vitamine | 4,8 |

Im Gegensatz zum "Energie-Test" fiel die Bearbeitung des "Energie-Biologie-Test"s vielen Schülern zu Beginn schwerer. So konnten ca. 8% der befragten Gymnasiasten innerhalb der ersten 30 Sekunden kein Wort angeben. Ähnlich wie beim "Energie-Test" sind auch beim "Energie-

Biologie-Test" die meisten Assoziationen aus dem Bereich der "belebten Natur" den Themenfeldern "Natur" und "Mensch" zuzuordnen. Zum Themenbereich "Natur" werden Organismen und abiotische Faktoren assoziiert, nämlich die Worte "Natur", "Pflanzen", "Tiere", "Menschen" sowie "Wasser", "Sonne", "Wind" und "Naturgewalten". Zum Themenbereich "Mensch" zählen Worte wie "Menschen", "Tätigkeit", "Nahrung", "Körper" und "Muskel". Auffallend ist, dass allgemein besonders häufig makroskopische, alltägliche Dinge assoziiert werden. Abstrakte Worte und mikroskopische Dinge, wie z.B. "Energieformen" oder "Vitamine" werden sehr selten genannt.

Tab. 4-3: Assoziationen aller Oberstufenschüler zum Stichwort Energie

Die 10 am häufigsten assoziierten Worte und die 10 am häufigsten assoziierten naturwissenschaftlichen Fachtermini zum Stichwort Energie (N = 640)

| Rangplatz | alle Worte | relative Häufigkeit in % | naturwissenschaftl. Fachtermini | relative Häufigkeit in % |
|-----------|---------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 1. | Energieformen | 61,6 | Zuckerarten | 20,5 |
| 2. | Kraftwerk | 59,5 | ADP/ATP | 17,5 |
| 3. | Strom | 58,4 | Naturgewalten | 9,8 |
| 4. | Sonne | 54,8 | Photosynthese | 8,5 |
| 5. | Energieträger | 54,0 | Atome | 8,3 |
| 6. | Tätigkeit | 53,2 | Kohlenhydrate | 7,7 |
| 7. | Wärme | 38,3 | Natur | 6,3 |
| 8. | Wasser | 38,3 | Stoffwechsel | 6,1 |
| 9. | Kraft | 37,8 | Elektronen | 4,9 |
| 10. | Wind | 37,5 | exo- /endotherm | 4,9 |

Tab. 4-4: Assoziationen der Oberstufenschüler zum Stichwortpaar Energie - Biologie

Die 10 am häufigsten assoziierten Worte und die 10 am häufigsten assoziierten naturwissenschaftlichen Fachtermini zum Stichwortpaar Energie - Biologie (N = 640)

| Rangplatz | alle Worte | relative Häufigkeit in % | naturwissenschaftl. Fachtermini | relative Häufigkeit in % |
|-----------|---------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 1. | Tätigkeit | 46,3 | Zuckerarten | 43,8 |
| 2. | Zuckerarten | 43,8 | ADP/ATP | 40,4 |
| 3. | ADP/ATP | 40,4 | Photosynthese | 33,7 |
| 4. | Nahrung | 36,8 | Kohlenhydrate | 18,4 |
| 5. | Sonne | 34,3 | Stoffwechsel | 17,9 |
| 6. | Photosynthese | 33,7 | Muskel | 14,1 |
| 7. | Wärme | 24,0 | Menschen | 11,8 |
| 8. | Wasser | 22,5 | Pflanzen | 11,3 |
| 9. | Energieform | 20,4 | Fette | 10,8 |
| 10. | Kohlenhydrate | 18,4 | Tiere | 9,5 |

Bei den Assoziationen der Oberstufenschüler zum Stichwort Energie nehmen "naturwissenschaftliche Fachtermini", ähnlich wie in der Unter- und Mittelstufe, eine eher untergeordnete Rolle ein. Im Gegensatz zu den Schülern der Sekundarstufe I assoziierten SII-Schüler jedoch häufiger Worte, die dem "biologischen Energiefluss", genauer der Assimilation, zuzuordnen wären. Hierbei sind insbesondere zu nennen: "Sonne", "Zuckerarten", "ADP/ATP", "Kohlenhydrate", "Photosynthese" und "Pflanzen".

Die Assoziationen zum "Energie-Biologie-Test" belegen, dass der Photosyntheseprozess und sein Primärprodukt, der chemische Energiespeicher "Zucker", die am häufigsten mit "Energie" in Verbindung gebrachten Worte aus der "belebten Natur" sind.

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass Prozesse und Strukturen, die eindeutig dem Themenfeld "Dissimilation" zuzuordnen sind, deutlich weniger mit dem Stichwort Energie gedanklich verbunden werden. Fachtermini wie "Atmung", "Citronensäurezyklus" oder "Mitochondrien" werden fast nie genannt (Nennhäufigkeit unter 2%).

Einfluss bestimmter Faktoren auf das Assoziationspektrum

3. Entwickelt sich das assoziative Umfeld zum Stichwort Energie während der Schulzeit der SI und SII, und wenn ja, welche Veränderungen sind in welchem Maße festzustellen?

Tab. 4-5: Entwicklung des assoziativen Umfeldes zum Stichwort Energie

Vergleich der zum Stichwort Energie assoziierten Worte von Schülern der 5. und 13. Jahrgangstufe

| Rangplatz aller Worte | Schüler der Jahrgangstufe 5 N = 410 | relative Häufigkeit in % | Schüler der Jahrgangstufe 13 N = 237 | relative Häufigkeit in % |
|-----------------------|--|--------------------------|---|--------------------------|
| 1. | Strom | 69,0 | Energieträger | 72,1 |
| 2. | Tätigkeit | 43,2 | Kraftwerke | 59,2 |
| 3. | Licht | 40,2 | Sonne | 58,4 |
| 4. | Kraft | 38,2 | Strom | 57,9 |
| 5. | Elektrogeräte | 37,1 | Energieformen | 52,4 |
| 6. | Zustandsb. d.. Men. | 33,5 | Tätigkeit | 48,1 |
| 7. | Stromkreis | 31,6 | Wärme | 42,5 |
| 8. | Fortbewegungsmittel | 31,0 | Wasser | 39,5 |
| 9. | Kraftwerk | 28,8 | Nahrung | 39,1 |
| 10. | Sonne | 25,8 | Wind | 38,2 |

Tab. 4-6: Entwicklung des assoziativen Umfeldes zum Stichwortpaar Energie - Biologie

Vergleich der zum Stichwortpaar Energie - Biologie assoziierten Worte von Schülern der 5. und 13. Jahrgangstufe

| Rangplatz aller Worte | Schüler der Jahrgangstufe 5 N = 410 | relative Häufigkeit in % | Schüler der Jahrgangstufe 13 N = 237 | relative Häufigkeit in % |
|-----------------------|--|--------------------------|---|--------------------------|
| 1. | Tiere | 61,1 | ADP/ATP | 53,1 |
| 2. | Pflanzen | 46,3 | Zuckerarten | 50,2 |
| 3. | Wasser | 32,6 | Photosynthese | 40,3 |
| 4. | Menschen | 30,9 | Sonne | 39,3 |
| 5. | Tätigkeit | 27,4 | Tätigkeit | 36,5 |
| 6. | Sonne | 24,3 | Nahrung | 36,0 |
| 7. | Naturgewalten | 18,6 | Wärme | 35,1 |
| 8. | Natur | 18,0 | Stoffwechsel | 26,1 |
| 9. | Nahrung | 15,7 | Wasser | 21,8 |
| 10. | Sport | 13,4 | Licht | 21,3 |

Der zweite Teil der Tabelle 4-6 befindet sich auf der folgenden Seite.

| Rangplatz naturw. Fachterm. | Schüler der Jahrgangstufe 5 N = 410 | relative Häufigkeit in % | Schüler der Jahrgangstufe 13 N = 237 | relative Häufigkeit in % |
|-----------------------------|--|--------------------------|---|--------------------------|
| 1. | Tiere | 61,1 | ADP/ATP | 53,1 |
| 2. | Pflanzen | 46,3 | Zuckerarten | 50,2 |
| 3. | Menschen | 30,9 | Photosynthese | 40,3 |
| 4. | Naturgewalten | 18,6 | Stoffwechsel | 26,1 |
| 5. | Natur | 18,0 | Muskel | 11,8 |
| 6. | Experimente | 6,6 | Kohlenhydrate | 10,9 |
| 7. | Körper | 6,6 | NADPH + H ⁺ | 10,9 |
| 8. | Knochen/Skelett | 6,3 | Dissimilation | 10,4 |
| 9. | Muskel | 6,3 | Pflanzen | 10,4 |
| 10. | Organe | 5,7 | Sauerstoff | 10,4 |

Tab. 4-7: Anzahl der zum Stichwort Energie und zum Stichwortpaar Energie - Biologie assoziierten naturwissenschaftlichen Fachtermini

Vergleich der assoziierten Worte von Schülern der 5., 11. und 13. Jahrgangstufe

| Jahrgangstufe | Assoziierte naturwissenschaftliche Fachtermini | |
|---------------|--|------------------------------|
| 5 N = 410 | "Energie-Test": 42 | "Energie-Biologie-Test": 70 |
| 11 N = 220 | "Energie-Test": 82 | "Energie-Biologie-Test": 124 |
| 13 N = 237 | "Energie-Test": 129 | "Energie-Biologie-Test": 167 |

In der Assoziationsbefragung zum Stichwortpaar Energie - Biologie nannten die Schüler der 5. Jahrgangstufe am häufigsten makroskopische, belebte Dinge der Umwelt (Pflanzen, Tiere und Menschen). Ebenfalls häufig genannt wurden Worte, die dem Wortfeld "Bewegung" zugeordnet werden können, nämlich "Tätigkeit" und "Sport". Prozesse wie "Photosynthese" und "Verdauung" werden selten assoziiert und rangieren nicht auf den ersten 10 Plätzen. Die 10 häufigsten Assoziationen von Schülern der 13. Jahrgangstufe dagegen sind ausschließlich mikroskopische Dinge und Prozesse. Assoziationen zu makroskopischen Dingen, wie z.B. zu "Pflanzen", "Tiere" und "Menschen", liegen unter einem Prozent.

Die Schüler der 5. Jahrgangstufe assoziieren insgesamt weniger Worte und ein schmaleres Spektrum an Worten als die Schüler der 13. Jahrgangstufe. Allgemein nehmen das Spektrum und die Anzahl der Assoziationen von der Sekundarstufe I zur Sekundarstufe II zu. Während die Häufigkeit, mit der naturwissenschaftliche Fachtermini im "Energie-Test" genannt wurden, kontinuierlich während der Schulzeit zunimmt, fällt die Zunahme an assoziierten Fachtermini im "Energie-Biologie-Test" in der Oberstufe im Vergleich zur Unter- und Mittelstufe deutlich geringer aus.

4. Wie wirken sich die Faktoren Geschlecht, Muttersprache, Quantität des naturwissenschaftlichen Unterrichts, naturwissenschaftliches Interesse der Schüler, Schul- und Lernumgebung sowie Schulform auf das assoziative Umfeld des Ausdrucks Energie aus?
Bewirkt ein Mehr an Biologieunterricht auch ein Mehr an assoziierten Worten aus biologischen Themenbereichen?

Tab. 4-8: Faktor Geschlecht

Vergleich der zum Stichwort Energie assoziierten Worte von Mädchen und Jungen

| Rangplatz aller Worte | Mädchen N =884 | relative Häufigkeit in % | Jungen N =777 | relative Häufigkeit in % |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|
| 1. | Strom | 67,1 | Kraftwerk | 63,7 |
| 2. | Tätigkeit | 58,0 | Strom | 61,8 |
| 3. | Sonne | 46,0 | Energieträger | 57,9 |
| 4. | Licht | 41,0 | Energieformen | 54,9 |
| 5. | Elektrogeräte | 37,8 | Sonne | 43,5 |
| 6. | Kraft | 37,3 | Tätigkeit | 41,9 |
| 7. | Kraftwerk | 37,3 | Kraft | 35,2 |
| 8. | Energieformen | 34,0 | Licht | 35,0 |
| 9. | Zustandsbe. d. Menschen | 34,0 | Nahrung | 34,5 |
| 10. | Wasser | 33,7 | Wasser | 34,3 |
| Rangplatz naturw. Fachterm. | Mädchen N =884 | relative Häufigkeit in % | Jungen N = 777 | relative Häufigkeit in % |
| 1. | Zuckerarten | 13,3 | Naturgewalten | 16,6 |
| 2. | Naturgewalten | 12,2 | Zuckerarten | 11,9 |
| 3. | Menschen | 8,7 | Atome | 10,6 |
| 4. | ADP/ATP | 8,3 | ADP/ATP | 8,0 |
| 5. | Atome | 5,5 | Menschen | 7,3 |
| 6. | Natur | 5,5 | Muskel | 5,1 |
| 7. | Photosynthese | 4,4 | Umweltverschmutzung | 5,0 |
| 8. | Quelle | 4,0 | Natur | 4,1 |
| 9. | Vitamine | 3,9 | Kohlenhydrate | 3,9 |
| 10. | Kohlenhydrate | 3,8 | Tiere | 3,9 |

Vergleicht man die Rangplätze und Nennhäufigkeiten aller zum Stichwort Energie assoziierten Worte zwischen Jungen und Mädchen, so fallen zwei Aspekte besonders auf: 1. Jungen verknüpfen gedanklich mit dem Stichwort Energie häufiger als Mädchen Dinge, die dem technischen Bereich "Energieversorgung" zuzuordnen sind: "Kraftwerk", "Strom", "Energieträger". Mädchen assoziieren dagegen häufiger Worte, die mit dem "bewegten Menschen" zu tun haben. Zu nennen sind hier Worte, die unter den Rubriken "Tätigkeit" und "Zustandsbeschreibungen des Menschen" (fit, kräftig, Freude, Ausdauer, ...) gesammelt wurden. 2. Die Assoziationen der "naturwissenschaftlichen Fachtermini" sind in Bezug auf die Häufigkeit, mit der sie genannt wurden, weniger geschlechtsspezifisch. Viele Worte werden von Jungen und Mädchen gleichermaßen assoziiert. So sind die ersten fünf Rangplätze der naturwissenschaftlichen Fachtermini sehr ähnlich besetzt.

Tab. 4-9: Faktor Muttersprache

Vergleich der zum Stichwort Energie assoziierten Worte von Schülern mit der Muttersprache Deutsch und Schülern mit anderen Muttersprachen

| Rangplatz aller Worte | andere Muttersprache N = 148 | relative Häufigkeit in % | Muttersprache Deutsch N = 1513 | relative Häufigkeit in % |
|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 1. | Tätigkeit | 50,0 | Tätigkeit | 48,8 |
| 2. | Menschen | 36,4 | Tiere | 34,8 |
| 3. | Tiere | 34,4 | Sonne | 34,0 |
| 4. | Zuckerart | 27,3 | Nahrung | 33,1 |
| 5. | Nahrung | 25,3 | Wasser | 31,2 |
| 6. | Sonne | 25,3 | Pflanzen | 24,7 |
| 7. | Pflanzen | 24,0 | Zuckerart | 22,5 |
| 8. | Wasser | 20,8 | Menschen | 20,1 |
| 9. | ADP/ATP | 18,8 | ADP/ATP | 18,6 |
| 10. | Sport | 17,5 | Energieform | 18,4 |
| Rangplatz naturw. Fachterm. | andere Muttersprache N = 148 | relative Häufigkeit in % | Muttersprache Deutsch N = 1513 | relative Häufigkeit in % |
| 1. | Menschen | 36,4 | Tiere | 34,8 |
| 2. | Tiere | 34,4 | Pflanzen | 24,7 |
| 3. | Zuckerart | 27,3 | Zuckerart | 22,5 |
| 4. | Pflanzen | 24,0 | Menschen | 20,1 |
| 5. | ADP/ATP | 18,8 | ADP/ATP | 18,6 |
| 6. | Muskel | 14,3 | Photosynthese | 17,0 |
| 7. | Photosynthese | 14,3 | Naturgewalt | 13,0 |
| 8. | Natur | 13,6 | Muskel | 11,3 |
| 9. | Vitamine | 11,7 | Natur | 10,4 |
| 10. | Kohlenhydrate | 9,7 | Kohlenhydrate | 9,5 |

Ein Vergleich zwischen Schülern mit Deutsch als Muttersprache und Schülern mit anderen Muttersprachen ergab nur geringfügige Unterschiede. Das Spektrum der assoziierten Worte - besonders das der naturwissenschaftlichen Fachtermini - ist bei beiden Probandengruppen sehr ähnlich. Die unterschiedliche Belegung der Rangplätze wird meist nur durch wenige Prozente bestimmt. Nennenswerte Abweichungen ergeben sich nur im Bereich "Rangplätze aller Worte". Hier wird das Wort "Mensch" von den Schülern mit anderen Muttersprachen um 16 % häufiger genannt als von den Schülern mit deutscher Muttersprache. Die Worte "Sonne" und "Wasser" werden dagegen von den Schülern mit anderen Muttersprachen um ca. 10 Prozentpunkte weniger als von denen mit Deutsch als Muttersprache mit dem Stichwort Energie assoziiert. Diese Beobachtungen können im Rahmen der durchgeführten Erhebung nicht erklärt werden.

Tab. 4-10: Faktor "naturwissenschaftliches Interesse"

Vergleich der zum Stichwort Energie assoziierten Worte zwischen naturwissenschaftlich interessierten und naturwissenschaftlich nicht interessierten Schülern

| Rangplatz aller Worte | naturwissenschaftlich interessierte Schüler N = 1207 | relative Häufigkeit in % | naturwissenschaftlich nicht interessierte Schüler N = 454 | relative Häufigkeit in % |
|-----------------------------|---|--------------------------|--|--------------------------|
| 1. | Strom | 66,0 | Strom | 61,8 |
| 2. | Tätigkeit | 55,8 | Kraftwerk | 46,5 |
| 3. | Kraftwerk | 49,0 | Sonne | 44,1 |
| 4. | Sonne | 45,3 | Energieformen | 43,8 |
| 5. | Energieträger | 42,1 | Kraft | 39,8 |
| 6. | Energieformen | 42,0 | Tätigkeit | 39,8 |
| 7. | Licht | 40,0 | Energieträger | 36,3 |
| 8. | Elektrogeräte | 36,8 | Wind | 36,3 |
| 9. | Kraft | 35,2 | Licht | 34,7 |
| 10. | Wasser | 33,7 | Wasser | 34,7 |
| Rangplatz naturw. Fachterm. | naturwissenschaftlich interessierte Schüler N = 1207 | relative Häufigkeit in % | naturwissenschaftlich nicht interessierte Schüler N = 453 | relative Häufigkeit in % |
| 1. | Naturgewalt | 16,2 | Zuckerart | 14,8 |
| 2. | Zuckerart | 11,9 | Naturgewalt | 8,3 |
| 3. | ADP/ATP | 8,6 | Menschen | 7,3 |
| 4. | Atome | 8,5 | ADP/ATP | 7,0 |
| 5. | Menschen | 8,4 | Atome | 5,4 |
| 6. | Natur | 4,8 | Natur | 5,4 |
| 7. | Photosynthese | 4,3 | Kohlenhydrate | 5,1 |
| 8. | Muskel | 4,1 | Quelle | 3,8 |
| 9. | Tiere | 4,0 | Photosynthese | 3,5 |
| 10. | Vitamine | 2,9 | Vitamine | 3,2 |

Der Vergleich der Assoziationen zum Ausdruck Energie zwischen naturwissenschaftlich interessierten und naturwissenschaftlich nicht interessierten Schülern zeigt:

1. Das Spektrum aller assoziierten Worte ist nur wenig verändert: Allein die Oberbegriffe "Wind" und "Elektrogeräte" unterscheiden die Auflistung der ersten 10 Rangplätze. Bezüglich der Häufigkeit der Nennung ist nur beim Oberbegriff "Tätigkeit" ein deutlicher Unterschied über 10% zu verzeichnen. Naturwissenschaftlich interessierte Schüler nannten um 16% häufiger Worte, die unter diesem Oberbegriff gesammelt werden.
2. Deutlichere Abweichungen zeigen sich bei den assoziierten naturwissenschaftlichen Fachtermini. Hier nannten die naturwissenschaftlich interessierteren Schüler häufiger Fachtermini wie "ADP/ATP" und "Photosynthese".
3. Allgemein liegt die Anzahl der Assoziationen bei naturwissenschaftlich interessierten Schülern höher. Während die nicht interessierten nur knapp 100 Fachtermini assoziierten, nannten die naturwissenschaftlich interessierten Schüler über 180 Worte. Ein größeres naturwissenschaftliches Interesse des einzelnen Schülers bedeutet demnach in Bezug auf diese Befragung, dass er eine größere Zahl energierelevanter Worte nennen kann.

Tab. 4-11: Faktor Schulform

Vergleich der zum Stichwort Energie assoziierten Worte zwischen SI-Schülern zweier Gesamtschulen und zweier Gymnasien (jeweils ländliche Schulen)
Die 10 am häufigsten assoziierten Worte und die 10 am häufigsten assoziierten naturwissenschaftlichen Fachtermini

| Rangplatz aller Worte | Gesamtschüler N = 401 | relative Häufigkeit in % | Gymnasiasten N = 435 | relative Häufigkeit in % |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1. | Strom | 72,4 | Strom | 67,3 |
| 2. | Energieformen | 43,2 | Fortbewegungsmittel | 44,0 |
| 3. | Kraft | 39,2 | Sonne | 42,5 |
| 4. | Stromkreis | 38,0 | Sport | 40,4 |
| 5. | Energieträger | 35,6 | Kraftwerk | 39,3 |
| 6. | Wasser | 34,8 | Licht | 38,9 |
| 7. | Sonne | 32,4 | Elektrogeräte | 38,5 |
| 8. | Zustandsb. d. Menschen | 32,4 | Stromkreis | 36,4 |
| 9. | Licht | 32,0 | Wasser | 36,4 |
| 10. | Kraftwerk | 30,0 | Naturwissenschaften | 33,5 |
| Rangplatz naturw. Fachterm. | Gesamtschüler N = 401 | relative Häufigkeit in % | Gymnasiasten N = 435 | relative Häufigkeit in % |
| 1. | Naturgewalten | 18,0 | Naturgewalten | 18,2 |
| 2. | Atome | 7,6 | Menschen | 9,8 |
| 3. | Menschen | 6,8 | Atome | 8,7 |
| 4. | Anziehung | 6,4 | Tiere | 6,2 |
| 5. | Spannung | 5,6 | Natur | 5,8 |
| 6. | Natur | 5,2 | Pflanzen | 5,1 |
| 7. | Muskel | 4,8 | Zuckerarten | 4,7 |
| 8. | Pflanzen | 3,2 | Umweltverschmutzung | 4,0 |
| 9. | Pol | 2,0 | Muskel | 3,6 |
| 10. | Strahlung | 2,0 | Vitamine | 3,6 |

Der Vergleich zwischen Gesamtschule und Gymnasium wurde nach Befragung von Schülern der Unter- und Mittelstufe vorgenommen, da sich die Schulen in diesen Stufen hinsichtlich des Stoffverteilungsplans und der Schulorganisation unterscheiden. Die Auswertung der Befragungen zeigt, dass sowohl das Spektrum als auch die Häufigkeit, mit der assoziierte Worte und Oberbegriffe genannt wurden, bei den befragten Schülern beider Schulformen ähnlich sind. Von Schülern beider Schulformen wurde das Wort "Strom" deutlich am häufigsten genannt. Die Ausdrücke "Sonne", "Wasser" und der Oberbegriff "Stromkreis" fanden sich ebenfalls in beiden Probandengruppen in der Liste aller zum Stichwort Energie assoziierten Worte. Ähnliche Übereinstimmungen waren bei den naturwissenschaftlichen Fachtermini festzustellen. In beiden Listen steht an erster Stelle der Oberbegriff "Naturgewalten". Des Weiteren wurden die Worte "Menschen", "Atom", "Natur" und "Pflanzen" von Gymnasiasten und Gesamtschülern ähnlich häufig genannt.

Tab- 4- 12: Faktor Schul- und Lernumgebung

Vergleich der zum Stichwort Energie assoziierten Worte zwischen Schülern ländlicher und städtischer Gymnasien

Die 10 am häufigsten assoziierten Worte und die 10 am häufigsten assoziierten naturwissenschaftlichen Fachtermini

| Rangplatz aller Worte | Schüler in ländlicher Umgebung N = 1204 | relative Häufigkeit in % | Schüler in städtischer Umgebung N = 457 | relative Häufigkeit in % |
|-----------------------------|--|--------------------------|--|--------------------------|
| 1. | Strom | 61,5 | Tätigkeit | 61,8 |
| 2. | Sonne | 51,6 | Strom | 59,0 |
| 3. | Energieformen | 51,0 | Kraft | 43,8 |
| 4. | Energieträger | 49,7 | Sonne | 42,1 |
| 5. | Kraftwerk | 46,0 | Energieformen | 37,6 |
| 6. | Wasser | 42,0 | Licht | 37,1 |
| 7. | Wind | 40,7 | Wärme | 36,0 |
| 8. | Licht | 35,9 | Naturwissenschaften | 29,8 |
| 9. | Fortbewegungsmittel | 31,9 | Kraftwerke | 29,2 |
| 10. | Zustb. d. Menschen | 31,9 | Energieträger | 26,4 |
| Rangplatz naturw. Fachterm. | Schüler in ländlicher Umgebung N = 1204 | relative Häufigkeit in % | Schüler in städtischer Umgebung N = 457 | relative Häufigkeit in % |
| 1. | Naturgewalten | 16,2 | ADP/ATP | 20,8 |
| 2. | Zuckerarten | 8,3 | Menschen | 12,9 |
| 3. | Atome | 8,1 | endotherm/exotherm | 10,1 |
| 4. | Menschen | 6,1 | Naturgewalten | 9,0 |
| 5. | Natur | 5,5 | Atome | 7,9 |
| 6. | Umweltverschmutzung | 4,8 | Natur | 7,3 |
| 7. | Energiehaushalt | 4,6 | Elektron | 6,2 |
| 8. | Pflanzen | 3,9 | Strahlung | 6,2 |
| 9. | Tiere | 3,7 | Stärke | 5,1 |
| 10. | ADP/ATP | 3,5 | Zuckerarten | 4,5 |

Die Assoziationen von Schülern ländlicher und städtischer Gymnasien zum Themenkomplex Energie unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht. Besonders deutlich sind die Unterschiede im Bereich der naturwissenschaftlichen Fachtermini. Während die Assoziationen der Schüler aus Gymnasien mit eher ländlich geprägtem Einzugsgebiet vermehrt dem Themenschwerpunkt "Natur, Organismen und abiotische Faktoren" zuzuordnen sind ("Naturgewalt", "Menschen", "Natur", "Umweltverschmutzung", "Pflanzen" und "Tiere"), sind die Assoziationen der Schüler aus städtischer Umgebung eher abstrakt ("ADP/ATP", "endotherm/exotherm", "Atome", "Elektron", "Strahlung", "Stärke"). Diese abstrakten Worte dürften aus dem erhaltenen naturwissenschaftlichen Unterricht stammen.

Tab. 4-13: Faktor Quantität des naturwissenschaftlichen Unterrichts**Beispiel: Leistungskurs-Wahl in der Oberstufe⁹**

Vergleich der zum Stichwort Energie assoziierten Worte zwischen Oberstufenschülern mit und ohne Leistungskurs Biologie (SII, N = 640)

Die 10 am häufigsten assoziierten Worte und die 10 am häufigsten assoziierten naturwissenschaftlichen Fachtermini

| Rangplatz aller Worte | Schüler mit LK Biologie N = 143 | relative Häufigkeit in % | Schüler ohne LK Biologie N = 492 | relative Häufigkeit in % |
|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| 1. | Sonne | 69,2 | Energieformen | 68,1 |
| 2. | Kraftwerk | 65,7 | Kraftwerk | 57,7 |
| 3. | Energieträger | 65,0 | Strom | 57,7 |
| 4. | Strom | 60,8 | Tätigkeit | 54,5 |
| 5. | Tätigkeiten | 49,0 | Energieträger | 50,8 |
| 6. | Nahrung | 46,2 | Sonne | 50,6 |
| 7. | Wärme | 45,5 | Kraft | 39,0 |
| 8. | Wasser | 42,0 | Wasser | 37,2 |
| 9. | Wind | 42,0 | Wärme | 36,2 |
| 10. | Licht | 39,9 | Wind | 36,2 |
| Rangplatz naturw. Fachterm. | Schüler mit LK Biologie N = 143 | relative Häufigkeit in % | Schüler ohne LK Biologie N = 492 | relative Häufigkeit in % |
| 1. | ADP/ATP | 35,0 | Zuckerart | 16,5 |
| 2. | Zuckerart | 34,3 | ADP/ATP | 12,4 |
| 3. | Photosynthese | 18,2 | Naturgewalt | 8,5 |
| 4. | Naturgewalt | 14,0 | Kohlenhydrate | 7,9 |
| 5. | Atome | 11,2 | Atome | 7,5 |
| 6. | Stoffwechsel | 11,2 | Natur | 6,7 |
| 7. | NADPH + H ⁺ /NAD | 10,5 | endothorm/exothorm | 5,7 |
| 8. | Dissimilation | 7,7 | Photosynthese | 5,7 |
| 9. | Elektronen | 7,0 | Quelle | 4,9 |
| 10. | Kohlenhydrate | 7,0 | Stoffwechsel | 4,7 |

Ein Vergleich der assoziierten Worte zum Thema Energie zwischen Schülern mit und ohne Leistungskurs Biologie zeigt besonders im Bereich der naturwissenschaftlichen Fachtermini deutliche Unterschiede: So nennen Schüler mit Leistungskurs Biologie wesentlich häufiger - z.T. mehr als 50% - als Schüler ohne Leistungskurs Biologie spezielle biologische Fachtermini wie "ADP/ATP", "Photosynthese", "NADP+H⁺/NAD", "Zuckerart" und "Atome".

Das Spektrum der assoziierten Worte wird dagegen von einem höheren Biologiestundenanteil nicht bemerkenswert beeinflusst.

Auffallend ist, dass bei Schülern im Biologie-Leistungskurs trotz höherer Stundenzahl Assoziationen, die deutlich zum Dissimilations-Stoffwechsel zu zählen sind, wie z.B. Mitochondrien, Atmung, Atmungskette, Glykolyse oder Citronensäurezyklus, fast gänzlich fehlen (Häufigkeit der Nennung meist weit unter 5%).

⁹ Wegen der unterschiedlichen Gestaltung des Differenzierungsunterrichts in den untersuchten Schulen und oftmals unvollständiger bzw. nicht eindeutig nachvollziehbarer Angaben auf den Untersuchungsbögen konnte nur knapp die Hälfte aller Probanden in eine Auswertung zum Faktor Quantität des naturwissenschaftlichen Unterrichts, Beispiel Differenzierungsunterricht in der Mittelstufe einbezogen werden. Die Daten sind deshalb nicht in einer einzelnen Tabelle ausgewiesen. Ein Vergleich der entsprechenden Probandengruppen ergibt ein ähnliches Bild, wie es bei den Oberstufenschülern (Tabelle 4-13) zu beobachten ist: Schüler mit naturwissenschaftlichem Differenzierungsunterricht assoziieren häufiger naturwissenschaftliche Fachbegriffe. Das Spektrum dieser Begriffe ist jedoch nur unwesentlich erweitert.

5. Hat sich das assoziative Umfeld zum Ausdruck Energie im Vergleich zu bisherigen Befragungen verändert, und wenn ja, wie?

Tab. 4-14: Entwicklung des assoziativen Umfeldes zum Ausdruck Energie

Vergleich der spontanen Assoziationen der SII-Gymnasialschüler (innerhalb von ca. 30 Sekunden) zum Stichwort Energie zwischen SCHAEFER (1975/1977) und GERHARDT & BURGER (1995/1996)

| Rangplatz aller Worte | Schaefer 1975/1977 N = 113 | relative Häufigkeit | Gerhardt & Burger 1995/1996 N = 640 | relative Häufigkeit |
|-----------------------|-------------------------------|---------------------|--|---------------------|
| 1. | Kraft | 24,0 | Energieform | 61,6 |
| 2. | Strom | 17,6 | Kraftwerk | 59,5 |
| 3. | Wasser | 8,4 | Strom | 58,4 |
| 4. | Wärme | 7,3 | Sonne | 54,8 |
| 5. | Arbeit | 6,3 | Energieträger | 54,0 |
| 6. | Leistung | 6,3 | Tätigkeit | 53,2 |
| 7. | Elektrizität | 4,3 | Wärme | 38,3 |
| 8. | Bewegung | 4,0 | Wasser | 38,3 |
| 9. | Atom/Kernenergie | 4,0 | Kraft | 37,8 |
| 10. | Licht | 3,7 | Wind | 37,5 |

Der Vergleich zu früheren Assoziationsbefragungen zum Stichwort Energie wird an der ältesten uns bekannten Studie dieser Art, der Assoziationsbefragung von SCHAEFER 1975/1977 (publiziert 1982, 1983), vorgenommen.

Ein Vergleich zwischen den von den Probanden konkret assoziierten Worten ist nicht direkt möglich, da - im Gegensatz zu SCHAEFER - bei unserer aktuellen Erhebung Oberbegriffe benutzt wurden, um die Worte mit ähnlicher Bedeutung (Synonyme) bzw. Worte aus einem Themenfeld zusammenzufassen. Eine Gegenüberstellung der ermittelten Assoziationen kann deshalb nur bezüglich der durch die Worte skizzierten Themenfelder sinnvoll vorgenommen werden.

Vergleicht man die zum Ausdruck Energie durch gymnasiale Oberstufenschüler von 1975/1977 assoziierten Worte mit denen von 1995/1996, so zeigen sich deutliche Veränderungen: Die 1975/1977 häufigste Assoziation "Kraft" rangiert 1995/1996 auf Platz 9 der Rangliste. (Unter dem Oberbegriff "Kraft" werden in unserer Untersuchung nur der Ausdruck "Kraft" und der englische Ausdruck "Power" zusammengefasst). Assoziationen zu den Oberbegriffen "Arbeit" und "Licht" treten in der Rangliste der ersten 10 Nennungen 1995/1996 nicht mehr auf, Assoziationen zu den Oberbegriffen "Energieträger" und "Wind" kommen neu hinzu.

Trotz dieser Veränderungen bleibt der Schwerpunkt der zum Stichwort Energie assoziierten Worte im eher technischen und unbelebten Bereich. Fachausdrücke des biologischen Energieflusses gehören damals wie heute nicht zu den 10 am häufigsten genannten Oberbegriffen.

4.4.7 Zusammenfassung der Ergebnisse der Assoziationsbefragung und Folgerungen für die Hauptuntersuchung

Aufgrund der vorgestellten Ergebnisse der Assoziationsbefragung lassen sich folgende Aussagen für die gesamte untersuchte Probandengruppe formulieren:

Spektrum der Assoziationen

- Die Assoziationen zum Ausdruck Energie sind überwiegend dem technischen Bereich zuzuordnen. Naturwissenschaftliche bzw. biologische Worte werden selten und wenn, dann meistens erst nach mehr als 30 Sekunden Assoziationszeit genannt. Die meisten Assoziationen aus dem Bereich der "belebten Natur" können unter dem Oberbegriff "Tätigkeiten" (Bewegungsabläufe) zusammengefasst werden.
- Assoziationen zum Assimilations-Stoffwechsel treten relativ häufig, Assoziationen zum Dissimilations-Stoffwechsel dagegen fast gar nicht auf.
- Die meisten Assoziationen der Schüler der Sekundarstufe I lassen sich den Themenfeldern "Natur" (abiotische Faktoren und Organismen) und "Mensch" zuordnen. Diese Schwerpunktsetzung ist bei den Schülern der SII nur noch in Ansätzen zu erkennen.

Einfluss bestimmter Faktoren auf das Assoziationsspektrum

- Das assoziative Umfeld zum Stichwort Energie verändert sich während der Schulzeit. Schüler der Sekundarstufe I nennen sehr häufig makroskopische Dinge (Pflanze, Tier, Mensch), Schüler der Sekundarstufe II hingegen häufiger mikroskopische Dinge und Prozesse. Allgemein nehmen das Spektrum und die Anzahl der Assoziationen von der Sekundarstufe I zur Sekundarstufe II zu. Die in der Schule neu gelernten Ausdrücke (z.B. ATP, Photosynthese, Enzym und exotherm) ergänzen jedoch nicht die Assoziationsliste, sondern verdrängen die früheren Assoziationen von den vorderen Rangplätzen.
- Ein höheres naturwissenschaftliches Interesse und ein umfangreicherer Biologieunterricht (im Differenzierungs- oder Leistungskurs-Unterricht) bewirken in Bezug auf biologische Fachtermini ein breiteres sowie detaillierter aufgefächertes Spektrum.
- Gymnasiasten und Gesamtschüler haben sehr ähnliche Assoziationen zum Ausdruck Energie.
- Die Faktoren Geschlecht und Muttersprache haben nur einen geringen Einfluss auf das Spektrum der assoziierten Worte.
- Schüler unterschiedlicher Schulumgebungen weisen deutlich unterschiedliche Assoziationen zum Ausdruck Energie auf.

Für das Entwickeln der Untersuchungsinstrumente und in Hinblick auf die zu erwartenden Ergebnisse lassen sich für die Hauptuntersuchung folgende Aspekte festhalten:

1. Auf der Basis der Ergebnisse der Voruntersuchung werden für die Fragen und Aufgaben der Hauptuntersuchung die beiden Themenfelder "Mensch" (Tätigkeiten, Muskel, Körper, Nahrung) und "Natur" (abiotische Faktoren wie z.B. Klimaerscheinungen, insbesondere Wärme, sowie Organismen wie z.B. Tiere und Pflanzen) bestimmt. Das Themenfeld "Mensch" wird in seinem Aspekt Nahrung durch Assoziationen wie Sonne, Pflanzen, Zucker und Kohlenhydrate sowie ATP/ADP bei Oberstufenschülern um den Bereich "Assimilation - biotischer Energiefluss" ergänzt.
2. Aufgrund der Analyse des Einflusses der unterrichtsrelevanten Faktoren auf Assoziationen zum Ausdruck Energie ist zu erwarten, dass sich die Vorstellungen zwischen Schülern von Schulen mit ländlichem und städtischem Einzugsgebiet, zwischen Schülern mit unterschiedlich

intensivem naturwissenschaftlichen (insbesondere biologischen) Fachunterricht und unterschiedlichem naturwissenschaftlichen Interesse sowie zwischen Schülern verschiedener Jahrgangsstufen bezüglich des Spektrums und der Auftrittshäufigkeit unterscheiden.

3. Speziell bei Schülern mit intensiverem naturwissenschaftlichen (biologischen) Unterricht und bei Schülern mit naturwissenschaftlichem Interesse kann aufgrund der häufiger assoziierten naturwissenschaftlichen Fachtermini bzw. aufgrund des weiteren Spektrums dieser Worte ein fundierteres Wissen zu "Energie im biologischen Kontext" vermutet werden.

4.5 Hauptuntersuchung: Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext"

Zur Ermittlung von Schülervorstellungen zum Themenbereich "Energie im biologischen Kontext" sind in der von Frau Prof. Dr. GERHARDT geleiteten Arbeitsgruppe "Schülervorstellungen im Biologieunterricht" (Fakultät für Biologie & Didaktik der Biologie, Universität Bielefeld) zwischen 1991 und 1999 insgesamt neun eigenständige Studien durchgeführt worden (Zusammenstellung in Tab. 4-45, S. 203). Die dabei gewonnenen Ergebnisse und z.T. nicht dokumentierten bzw. auch nicht dokumentierbaren unsystematischen Erfahrungen wurden bei der Entwicklung und Durchführung der nun anschließend vorgestellten, im Rahmen dieser Arbeit vorgenommenen Hauptuntersuchung berücksichtigt.

4.5.1 Fragestellungen der Hauptuntersuchung

Für die qualitative und quantitative Analyse der Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" sowie für die Analyse derjenigen Faktoren, die vermutlich Schülervorstellungen beeinflussen (vgl. Kap. 4.2.2, S. 115), sind, Bezug nehmend auf zum Energiebegriff erarbeiteten naturwissenschaftlichen Grundlagen (Kap.2.1), drei übergreifende Themenbereiche erarbeitet worden. Jeder Themenbereich wird durch konkretisierende Fragen weiter erschlossen (Tab. 4-15, nächste Seite).

Die beiden folgenden Fragestellungen, die sich bereits aus den Zielformulierungen zur Hauptuntersuchung ergeben, erlangen durch die Ergebnisse der Voruntersuchung an Bedeutung:

1. Unterscheiden sich die Vorstellungen hinsichtlich Qualität und Quantität bei Schülern von Schulen mit ländlichem und städtischem Einzugsgebiet, bei Schülern mit unterschiedlich intensivem naturwissenschaftlichen (insbesondere biologischen) Fachunterricht und unterschiedlichem naturwissenschaftlichen Interesse sowie bei Schülern verschiedener Jahrgangsstufen?
2. Zeigt sich bei Schülern mit intensiverem naturwissenschaftlichen (biologischen) Unterricht und bei Schülern mit naturwissenschaftlichem Interesse, die häufiger bzw. ein weiteres Spektrum von naturwissenschaftlichen Fachtermini assoziieren, ein vergleichsweise fundierteres Wissen zu "Energie im biologischen Kontext"?

Tab. 4-15: Bezug zwischen den Fragestellungen der Hauptuntersuchung und den Aspekten der Sachanalyse zu Energie

| Themenbereiche der Hauptuntersuchung | Betroffene Aspekte der Sachanalyse zu Energie | |
|--|--|--|
| | Allgemein naturwissenschaftliche Aspekte | Aspekte aus dem Bereich der Biologie |
| <p>A Vorstellungen zu Energie in Organismen</p> <p><u>A1 Eigenschaften von Energie</u> Durch welche Eigenschaften ist Energie in Bezug auf Organismen/organische Verbindungen gekennzeichnet?</p> <p><u>A2 Zweck von Energie</u> Welchen Zweck hat die Energie/Energieaufnahme/Energieumwandlung für Organismen?</p> | <p>Kennzeichnende Aspekte von Energie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mengenartigkeit • Umwandelbarkeit | <ul style="list-style-type: none"> • für biotische Prozesse wichtige Energieformen |
| <p>B Vorkommen, Speicherung und Transport sowie Umwandlung von Energie in Organismen</p> <p><u>B1 Vorkommen und Transport von Energie</u> Wo kommt Energie in Organismen/organischen Verbindungen vor? Wo und wie (in welcher Form) wird Energie in Organismen/organischen Verbindungen gespeichert und transportiert?</p> <p><u>B2 Umwandlung von Energie</u> Was passiert mit der aufgenommenen Energie in Organismen? Wo (Ort, Struktur) wird Energie in Organismen umgewandelt? Wie (Prozeß), mit welchen Begleiterscheinungen (z.B. Wärmeabgabe) wird Energie in Organismen umgewandelt? Wie können Energieumwandlungsprozesse in Organismen beeinflusst werden (z.B. Faktor Wärme)?</p> | <p>Kennzeichnende Aspekte von Energie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mengenartigkeit • Umwandelbarkeit • Übertragbarkeit • Energieentwertung | <ul style="list-style-type: none"> • biotischer Energiefluss • für biotische Prozesse wichtige Energieformen |
| <p>C Aufnahme und Abgabe von Energie bei Organismen</p> <p>Wie gelangt Energie in Organismen/organische Verbindungen? Wie verlässt Energie Organismen (Energiefluss durch Organismen)? Wie wird Energie zwischen Organismen transportiert (Energiefluss zwischen Trophieebenen)?</p> | <p>Kennzeichnende Aspekte von Energie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mengenartigkeit • Erhaltung • Umwandelbarkeit • Übertragung • Energieentwertung | <ul style="list-style-type: none"> • biotischer Energiefluss • für biotische Prozesse wichtige Energieformen |

4.5.2 Entwicklung des Untersuchungsdesigns für die Hauptuntersuchung

4.5.2.1 Auswahl der Untersuchungsmethoden

Zur Erhebung von Schülervorstellungen stehen vielfältige Methoden zur Verfügung. Grundsätzlich kann zwischen verschiedenen Variationen von Interviews, Fragebögen, Wissenskartierungen (concept-mapping), Zeichnungen und Beobachtungen (z.B. von Unterrichtssituationen) unterschieden werden (zur Übersicht vgl. z.B. HOPF 1978; JUNG 1978, 1978b; DRIVER & ERICKSON 1983; SUMFLETH 1987; GROPENIEBER 1997b; ROST 1996; WHITE & GUNSTONE 1992). Methoden, die im Rahmen dieser Arbeit bzw. in den parallel durchgeführten Begleitstudien (vgl. Tab. 4-45, S. 203) angewandt wurden, sind in Tabelle 4-16 zusammengestellt.

Tab. 4-16: Methoden zur Erhebung von Schülervorstellungen

| | Methoden | Beispiel/Erläuterung |
|---------------------------------|---|--|
| Schüler äußert sich schriftlich | Assoziationstest | Schreibe in den nächsten 4 Minuten alle Worte auf, die dir zum Ausdruck Energie einfallen. |
| | Fragebogen mit freier Antwortmöglichkeit | Der Körper und damit auch das Blut eines gesunden Menschen ist immer zwischen 36 und 37 Grad Celsius warm. Versuche zu erklären, woher diese Wärme stammt. |
| | Multiple-choice-Test | In welchen Nahrungsbestandteilen des Müsliriegels steckt für unseren Körper nutzbare Energie? Kreuze an: Fette, Eiweiße (Proteine), Kohlenhydrate (z.B. Zucker), Wasser, Vitamine, Mineralstoffe/Spurenelemente (z.B. Eisen, Calcium). |
| | Visualisierung | Schüler zeichnet in einen Torso des Menschen die zur Verdauung nötigen Organe ein. |
| Schüler äußert sich mündlich | Halbstandardisiertes Interview mit Interviewleitfaden | Vorgefertigter Fragenkatalog wird den Gedankengängen des Schülers individuell und spontan angepasst. |
| | Protokollierung von Unterrichtssequenzen | Unterrichtsverläufe werden transkribiert und u.a. hinsichtlich Vorstellungsinhalten und Umgang mit Vorstellungen ausgewertet. |

Zum Zeitpunkt der Hauptuntersuchung waren aufgrund der unter Kapitel 4.1 aufgezeigten Literaturlage nur wenige Vorstellungsinhalte deutschsprachiger Schüler zu "Energie im biologischen Kontext" bekannt. Die wenigen Inhalte stammen zumeist aus den thematisch eingeschränkten Untersuchungen zum Bereich Stoffwechselfysiologie. Dieser Forschungsstand macht es zum einen unmöglich, ein Instrument zur standardisierten und quantitativ auswertbaren Datenerhebung (Fragebogen oder Interview) zu entwickeln, und legt zum anderen nahe, für eine umfassende Untersuchung der Schülervorstellungen eine qualitative Untersuchungsmethode zu verwenden (vgl. BORTZ & DÖRING 1995; LAMNEK 1988, 1993; MAYRING 1990).

Um in der Hauptuntersuchung sowohl die Inhalte der Schülervorstellungen möglichst in ihrer ganzen Breite zu erfassen als auch Aussagen über ihre Verbreitung treffen zu können, ist aufgrund theoretischer Überlegungen zunächst zur Datenerhebung ein dreistufiges Untersuchungsdesign entwickelt worden. Es beinhaltet die Untersuchungsmethoden "Fragebogen", "Interview" und "Multiple-choice-Test".

Für die Abwägung zwischen den zwei grundlegenden Befragungsmethoden "Fragebogen" und "Interview" als Untersuchungsinstrument wurden dabei folgende Aspekte beachtet, die aus der Literatur (vgl. u.a. BORTZ & DÖRING 1995; LAMNEK 1988, 1993; MAYRING 1990; GROPENIEBER

1997b, SPÖHRING 1989) und den eigenen Vorstudien (vgl. u.a. BURGER 1991, 1994, 1997; BURGER & GERHARDT 1997b) bekannt waren:

Tab. 4-17: Vor- und Nachteile der Befragungsmethoden Interview und Fragebogen

Anmerkung: Viele Nachteile einer Methode können als Vorteil der anderen Methode gewertet werden.

| Fragebogen | | Interview | |
|--|--|---|---|
| Vorteile | Nachteile | Vorteile | Nachteile |
| 1. Anonym, deshalb u.U. größere Bereitwilligkeit, auch wenig "abgesichertes" Wissen zu äußern. | 1. Das schriftliche Formulieren fällt vielen Schülern schwerer als mündliche Äußerungen. | 1. Einzelne Aspekte können bei Bedarf vertieft werden (Nachfragen erhöht die Verständlichkeit und verringert die Wahrscheinlichkeit des Missinterpretierens). | 1. Durch flexibles Nachfragen können bei Schülern individuell weiterführende Gedanken initiiert werden. |
| 2. Die Zeit zum Überlegen kann individuell bestimmt werden. | Dadurch u.U. kurze und ungenauere Antworten. | 2. Den Probanden unverständliche Fragen können erklärt bzw. umformuliert werden. | 2. Nachfragen kann dazu führen, dass sich der Befragte "genötigt" fühlt und "ad-hoc-Antworten" gibt. |
| 3. Unangenehme Fragen können, ohne Erklärungen abgeben zu müssen, übersprungen werden. | 2. Missverständnisse im Fragentext können ungeklärt bleiben. | 3. Die Fragenabfolge kann situationsbedingt flexibel gehandhabt werden. | 3. Sympathie/Antipathie zwischen Interviewer und Proband können das Ergebnis beeinflussen. |
| 4. Einfache Organisation für eine hohe Probandenanzahl. | 3. Bei Schülern, die die Fragenabfolge nicht einhalten, können Gedanken geweckt werden, die sie beim Einhalten der Fragenabfolge bei bestimmten Fragen so nicht gehabt hätten. | | 4. Schüler haben Gelegenheit, sich über den Inhalt der Befragung auszutauschen, da Einzelinterviews zwangsläufig über einen längeren Zeitpunkt durchgeführt werden. |
| 5. Schnellere Auswertung (keine Verschriftlichung). | | | 5. Aufwendige Datenauswertung (Verschriftlichung). |

Ausschlaggebend für die Entscheidung, den Fragebogen als *Hauptinstrument* für die Untersuchungen zu benutzen, waren in Hinblick auf den Untersuchungsgegenstand die ersten drei Argumente für den Fragebogen. Insbesondere die Möglichkeit, sich nach selbst bestimmter Zeit des Überlegens anonym zu seinen Vorstellungen äußern zu können, spricht für diese Methode (vgl. DUIT 1981). Die Befragten sollten sich nicht "unter Druck gesetzt fühlen", naturwissenschaftliche Vorstellungen zu Energie – also solche, die über den alltäglichen Sprachgebrauch des Ausdrucks Energie hinausgehen (vgl. Kap. 2.1.1, S. 10) - "ad hoc" zu formulieren. In den Vortests hatte sich herausgestellt, dass der Druck zu antworten bei Fragebögen deutlich geringer empfunden wird als in Interviewsituationen. Der geringere Druck erklärt sich nach Schüleräußerungen dadurch, dass beim anonymen Fragebogen, bei dem unangenehme Fragen unbemerkt und unkommentiert übergangen werden können, nicht das Gefühl aufkommt, dass die Fragen hätten richtiger beantwortet werden können, wenn die Schüler im naturwissenschaftlichen Unterricht besser aufgepasst hätten. Ein weiteres Entscheidungskriterium für den Einsatz des Fragebogens lässt sich aus dem Argument 3 gegen Interviews und dem Plädoyer BECKS (1987) gegen den Menschen als "Messgerät" ableiten. Die Beeinflussung der Interviewergebnisse durch den persönlichen Kontakt zum Probanden steht "dem Vollzug eindeutiger, wiederholbarer und vergleichbarer Tatsachenfeststellun-

gen, die unter der Idee der Formulierung allgemeingültiger Aussagen unverzichtbar sind, im Wege." (BECK 1987). Im Gegensatz zum persönlichen Einzelinterview bleibt beim Fragebogen die von BECK in Hinblick auf die Qualität der Datenerhebung kritisierte "Unbestimmtheit und Instabilität des Menschen" auf die Auswertung der schriftlichen Schüleräußerungen beschränkt. Ein Einfluss wie z.B. durch Sympathie und Antipathie oder durch unterschiedliche Wortwahl und Fragestellungen im halbstandardisierten Interview sind methodenbedingt beim Fragebogen auszuschließen.

Die Schwäche des Fragebogens, dass Fragen unverständlich bleiben, wurde durch Vortestsreihen, die auf die Minimierung derartiger Missverständnisse ausgelegt waren, möglichst weit eingeschränkt (vgl. Kap. 4.5.3, S. 149)¹⁰.

Das Argument, dass mit Hilfe von Interviews die Gedankengebäude der Schüler mittels Nachfragen tiefgreifender untersucht werden können, ist in Hinblick auf das Ziel der Untersuchung, *Grundvorstellungen* zu "Energie im biologischen Kontext" zu ermitteln, wenig bedeutsam. Denn leicht erinnerbare Wissenseinheiten, die als Elemente von Schülervorstellungen häufig benutzt werden und deshalb Schülern bei ihren Erklärungen für naturwissenschaftliche Phänomene offensichtlich erscheinen, dürften zumeist am Beginn von Überlegungen stehen. Zu erwarten ist deshalb, dass solche schnell erinnerten Elemente auch bei kurzen Antworten, wie sie eher bei Fragebögen als beim Interview zu erwarten sind, schon in den ersten Sätzen aufgeschrieben werden.

Die im Rahmen der Arbeit zunächst geplante Vorgehensweise war durch die folgenden drei Schritte gekennzeichnet:

Erster Schritt: Qualitative Analyse der Schülervorstellungen

Ein durch verschiedene Vortestsreihen optimierter Fragebogen wurde bei Schülern von der 5. bis zur 13. Jahrgangsstufe zur Ermittlung der Energievorstellungen zu den Themenbereichen A bis C eingesetzt.

Zweiter Schritt: Qualitative Absicherung der Vorstellungsinhalte und des Spektrums der Vorstellungen

Mit Hilfe einer Interviewreihe wurde einerseits das Spektrum der mit dem Fragebogen ermittelten Vorstellungsinhalte abgesichert, und andererseits wurden mögliche verdeckt gebliebene Vorstellungen nachträglich aufgezeigt (in Anlehnung an DAHNCKE, DUIT & v. RHÖNECK (1981) und JUNG (1985), der hierzu ausführt: "Verlasse dich bei Schlußfolgerungen nicht auf eine Erhebungsmethode, sondern suche die Vorstellungen durch eine Reihe unterschiedlicher Erhebungsinstrumente einzukreisen.").

¹⁰ Bei den von mir persönlich durchgeführten Befragungen gab kein einziger Schüler an, eine Frage der durch Vortests optimierten Fragebögen nicht verstanden zu haben.

Dritter Schritt: Quantitative Analyse der Schülervorstellungen

Die Auftrittshäufigkeit der in Schritt 1 und 2 erhobenen Vorstellungsinhalte wurde durch Multiple-choice-Tests in verschiedenen Probandengruppen (charakterisiert durch die Faktoren des Assoziationstests) ermittelt. Hiermit wurde die Generalisierbarkeit der während der qualitativen Analyse regelgeleitet "interpretierten" Schülervorstellungen getestet.

Aufgrund der bereits erwähnten Vorstudien zu bestimmten Bereichen der Biologie war die Anwendbarkeit der Methoden "Fragebogen" und "Interview" in Hinblick auf die Ermittlung von Vorstellungsinhalten erprobt und die Angemessenheit für den Untersuchungsgegenstand belegt. Eine Vortestreihe zur quantitativen Analyse der Schülervorstellungen mit Hilfe eines Multiple-choice-Tests zeigte jedoch ein unbefriedigendes Ergebnis:

Um die Angemessenheit (Reliabilität und Validität) des Multiple-choice-Tests (MC-Test) zu untersuchen, wurde eine Auswahl der in der Vorstudie zum Aspekt "Rolle der Wärme bei Energieumwandlungsprozessen" (BURGER (1991): Fragebogenstudie an 309 Realschülern und Interviewstudie an 79 Realschülern) ermittelten Vorstellungen zusammengestellt und anschließend den Schülern zur Beurteilung, ob sie ihren Vorstellungen entsprechen, vorgelegt (vgl. Abb. 4-2). Ausgewählt wurden jeweils die am häufigsten und die am wenigsten häufig geäußerten Vorstellungen zu den beiden Fragen "Wie kommt die Körperwärme des Menschen zustande?" und "Warum verschwindet der Schnee um wachsende Schneeglöckchen?". Unter den selten genannten Äußerungen war pro Aufgabe jeweils eine Vorstellung dabei, die in zuvor durchgeführten Untersuchungen bei 309 Probanden nur einmal genannt worden war. Mit Hilfe dieser "Außen-seiter-Vorstellung" sollte untersucht werden, ob mit Hilfe des MC-Tests das Vorstellungsbild der Probanden zuverlässig abgebildet wird. Absichtlich wurden auch nicht alle im Vortest aufgedeckten Vorstellungen aufgelistet, um zu überprüfen, ob Probanden nach dem Bearbeiten von vorgegebenen Lösungen noch eigene Gedankengänge formulieren.

Insgesamt 104 Schüler einer ostwestfälischen Gesamtschule - je 52 Schüler des 5. (2 Klassen) und 11. Jahrgangs (3 Kurse) - wurden in einem einseitigen Test während je einer Vertretungsstunde zu ihren Vorstellungen befragt. Das Ankreuzen mehrerer Aussagen pro Frage wurde ausdrücklich als Möglichkeit vorgegeben. Am Ende einer jeden Aufgabe hatten die Schüler die Möglichkeit, eigene Antworten zu formulieren,

Kreuze bitte die deiner Meinung nach richtigen Aussagen an. Es können auch mehrere Aussagen angekreuzt werden!

Lies alle Aussagen einer Frage einmal durch, bevor du deine Kreuze machst!

- Der Körper des Menschen ist ungefähr 36 bis 37 Grad Celsius warm. Diese Körpertemperatur kommt zustande ...

| | |
|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | weil aus Vitaminen Wärme hergestellt wird. |
| <input type="checkbox"/> | durch den Sauerstoff, der durch das Herz gepumpt wird. |
| <input type="checkbox"/> | weil durch die Verwertung der Nahrung Wärme entsteht. |
| <input type="checkbox"/> | durch den Herzschlag. |
| <input type="checkbox"/> | weil durch die Bewegung des Blutes und der Organe Wärme entsteht (Reibungswärme). |
| <input type="checkbox"/> | dadurch, daß Wärme durch die Nabelschnur in den Körper gelangt ist. Nach dem Abschneiden der Nabelschnur kann die Wärme nicht mehr aus unserem Körper hinaus. |
| <input type="checkbox"/> | weil der Körper immer arbeiten muß. |
| <input type="checkbox"/> | weil bei allen Abläufen im Körper ein Teil der umgewandelten Energie in Form von Wärme abgegeben wird. |
| <input type="checkbox"/> | durch die Wärme, die von außen kommt (z.B. Sonnenstrahlen). |

Wenn deine Antwort nicht in der Tabelle enthalten ist, dann schreibe sie bitte hier auf:

- Wie ist die Beobachtung zu erklären, daß die Schneedecke um wachsende Schneeglöckchen verschwindet?

| | |
|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | Pflanzen strahlen wie alle Lebewesen Wärme aus. |
| <input type="checkbox"/> | Bei den Umwandlungsprozessen in den Pflanzen entsteht Wärme. |
| <input type="checkbox"/> | Die Sonnenwärme wird von den Pflanzen gespeichert und dann abgegeben. |
| <input type="checkbox"/> | Die Wärme wird aus dem Boden aufgenommen und dann über die Blätter abgegeben. |
| <input type="checkbox"/> | Die Pflanzen saugen mit den Wurzeln den Schnee auf. |
| <input type="checkbox"/> | Die Pflanzen geben Salz ab und tauen den Schnee. |

Wenn deine Antwort nicht in der Tabelle enthalten ist, dann schreibe sie bitte hier auf:

Abb. 4-2: MC-Test zur quantitativen Analyse von Schülervorstellungen

wenn ihre persönliche Ansicht in der Liste der Antworten nicht vertreten war. Nach der Durchführung des Tests (Dauer in Jahrgangstufe 5 ca. 12 Minuten und in Jahrgangstufe 11 ca. 8 Minuten) wurden die Schüler über ihre "Strategien beim Ankreuzen" im Klassen-/Kursgespräch befragt.

Die Auswertung der Vortestreihe und der anschließenden Befragungen ergab:

1. Nur zwei von 104 Schülern nutzten die Möglichkeit, eigene Aussagen auf dem Testbogen zu formulieren.
2. Auch die Antworten, die in früheren Tests als einmalig aufgefallen waren, wurden bis zu 10 mal genannt. So kreuzten z.B. die Schüler des 11. Jahrgangs die Aussage "Die Pflanzen geben Salz ab und tauen so den Schnee." 8 mal an.
3. Bei den Nachbefragungen gaben viele Schüler zu, auch Antworten angekreuzt zu haben, die zwar nicht ihren Vorstellungen entsprachen, sich aber "gut anhörten".

Aufgrund dieser Erfahrungen erschien die Validität der MC-Test-Methode hinsichtlich der Überprüfung der Auftrittshäufigkeiten von Vorstellungen als zu gering. Eine Überprüfung der Reliabilität wurde aufgrund der Ergebnisse nicht mehr vorgenommen.

Die vorgestellten Ergebnisse der Vortestreihe zum MC-Test *führte vom ursprünglich dreischrittig geplanten zum nunmehr zweischrittigen Untersuchungsdesign.*

Um dennoch in der Hauptuntersuchung quantitative Aussagen zu Schülervorstellungen treffen zu können, wurde die Stichprobengröße der Fragebogenuntersuchung erhöht und damit die qualitative und quantitative Erhebung im ersten Untersuchungsschritt vorgenommen. Die Interviewtestreihe (zweiter Untersuchungsschritt) sollte weiterhin zur Überprüfung der Reliabilität und Validität der Fragebogenstudie dienen.

Durch den Wegfall des eigenständigen quantitativen Untersuchungsabschnitts musste - bei gleichbleibender Zeitspanne für die Gesamtauswertung - die Stichprobengröße kleiner gewählt werden: Ein unter rein quantitativen Gesichtspunkten auszuwertender MC-Test hätte in einer deutlich höheren Stichprobengröße eingesetzt werden können als eine Fragebogenuntersuchung, bei der wegen der größeren Datenmenge und der komplexeren Auswertung pro Proband eine deutlich längere Bearbeitungszeit einzurechnen gewesen wäre.

Da es das Ziel der Untersuchung ist, für die praktische Unterrichtsplanung typische und verbreitete Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" zu ermitteln, sollte die gewählte Stichprobe möglichst repräsentativ für die Gesamtheit der Schüler der Sekundarstufen I und II an allgemeinbildenden Schulen in NRW sein und ein Einordnen der ermittelten Vorstellungsinhalte nach "gängiger Vorstellung" bzw. "Einzelfall" ermöglichen. Auf Grundlage einer umfangreichen Datenbasis können die Grundvorstellungen quantitativ abgesichert formuliert und damit eine Generalisierbarkeit der Ergebnisse erreicht werden.

Eine starke Begrenzung der zu untersuchenden Schüleranzahl und eine theoriegeleitete Auswahl, die nicht nach dem Zufallsprinzip erfolgt, hätte die Generalisierbarkeit der Aussagen erschwert. BORTZ & DÖRING (1995) stellen fest: "Eine rationale Rechtfertigung generalisierender Aussagen nach dem Prinzip der "exemplarischen Verallgemeinerung" ist nur schwer möglich, denn die Vorstellung, ein Forscher könne bei einer begrenzten Auswahl von Fällen einen "typischen Fall" erkennen, impliziert nicht nur, daß der Forscher bereits eine Theorie über den Gegenstand hat (sonst wüsste er ja nicht, was typisch oder untypisch ist), sondern auch, daß er die Repräsentativität des Einzelfalls tatsächlich erkennt, um ihn in das Zentrum einer "exemplarischen Verallgemeinerung" stellen zu können."

Die Frage nach der geeigneten Stichprobengröße zum Erreichen der gesteckten Ziele der Hauptuntersuchung kann auf der Basis vorhandener Literatur nicht geklärt werden - weder durch Begründungen zu Stichprobengrößen früherer ähnlicher Untersuchungen noch durch die Ausführungen der Fachliteratur zu qualitativen Forschungsmethoden (Literaturangaben, vgl. S. 141). Aus eigenen (nicht systematisch ermittelten) Unterrichtserfahrungen zeigt sich, dass nach der Befragung von einer Klasse ein Großteil (geschätzt über 90%) der Vorstellungsinhalte zu einer Fragestellung bekannt ist. Der sich daraus ergebende Richtwert für einen Stichprobenumfang von ca. 25 Schülern, um einen Überblick über gängige Schülervorstellungen zu erhalten, sollte in Hinblick auf die verschiedenen Probandengruppen, die sich durch die fünf Faktoren Geschlecht, Jahrgang, naturwissenschaftliches Interesse (ja, nein), Quantität des Biologie- bzw. Naturwissenschaftsunterrichts (Leistungskurs- bzw. Grundkurswahl in der Oberstufe, naturwissenschaftliche bzw. nicht naturwissenschaftliche Differenzierungswahl in der Mittelstufe) und Schulumgebung (ländlich bzw. städtisch) ergeben, nicht unterschritten werden. Da die drei Faktoren Geschlecht, naturwissenschaftliches Interesse und Quantität des Biologie- bzw. Naturwissenschaftsunterrichts bedingt durch die geschilderten Erfahrungen beim Befragen von Klassenverbänden nicht berücksichtigt werden müssen (Jungen/Mädchen, naturwissenschaftlich Interessierte und Nichtinteressierte sowie Schüler mit und ohne vermehrten naturwissenschaftlichen Unterricht sind nach den eigenen unsystematischen Unterrichtserfahrungen in Klassenverbänden etwa gleich verteilt), sollte die Befragung pro Schulform an mindestens 25 mal 5 (für die Jahrgänge 5,8,10,11 und 12¹¹) mal 2 (für die Schulumgebungen ländlich und städtisch) = 250 Probanden durchgeführt werden.

4.5.2.2 *Methoden zur Qualitätssicherung*

Bei der Ermittlung von Schülervorstellungen wird eine möglichst große Objektivität im Sinne eines diesbezüglichen interpersonalen Konsenses angestrebt: Unterschiedliche Forscher müssen bei der Untersuchung des gleichen Sachverhalts mit den gleichen Methoden zu vergleichbaren Ergebnissen kommen.

Folgende Grundprobleme sind bei der Ermittlung von Vorstellungen aus konstruktivistischer Sichtweise (vgl. die 4 Kernaussagen zum Konstruktivismus, Kap. 3.1.2, S. 51f) prinzipiell unlösbar und deshalb durch geeignete Methoden lediglich zu minimieren:

Schülervorstellungen zur komplexen interdisziplinären Thematik "Energie im biologischen Kontext" sind

1. ... nicht kontextfrei zu ermitteln.

Da der Ausdruck Energie in verschiedenen Begriffssystemen mit unterschiedlichen Bedeutungen zur Anwendung kommt (in der Alltagssprache z.B. mit der Bedeutung "Treibstoff", in der Wissenschaftssprache zumeist als Rechengröße verstanden, vgl. v.a. Kap. 2.1.2, S. 13), sind Fragen zu Energie, wie z.B. die Frage "Was ist Energie?", ohne konkreten Bezug kaum sinnvoll zu beantworten.

¹¹ Die ursprünglich geplante Befragung des 13. Jahrganges lehnten alle Schulleitungen im Zuge der Abiturvorbereitungen ab. Deshalb wurden in der Hauptuntersuchung in der Oberstufe nur die Schüler der Jahrgänge 11 und 12 befragt.

2. ... für jeden einzelnen Probanden nicht mit dem Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

Aufgrund der unterschiedlichen Bedeutung des Ausdrucks Energie und aufgrund seiner herausragenden Relevanz sowohl in den Naturwissenschaften, Gesellschafts- und Geisteswissenschaften als auch in der Alltagssprache (vgl. Kap. 2.1.1, S. 10f) ist der Terminus "Energie" mit vielen verschiedenen Wissenseinheiten vernetzt. Da zur Ermittlung der Vorstellungsinhalte für jeden Schüler nur begrenzt Zeit zur Verfügung steht, ist die Wahrscheinlichkeit gegeben, dass nicht alle themenrelevanten Wissenseinheiten angesprochen und damit aufgedeckt werden. Auch die Tatsache, dass Menschen Informationen besitzen, sie aber - aus welchen Gründen auch immer - in einer bestimmten Situation nicht parat haben ("...mir liegt es auf der Zunge, aber ich komm' nicht drauf...") oder vergessen (VESTER 1980), lässt das vollständige Ermitteln der Vorstellungen gerade zum Ausdruck Energie und seinen komplexen Theorien fast unmöglich erscheinen (vgl. JAHODA, DEUTSCH & COOK 1972).

3. ... nicht abgesichert in Bezug auf ihre "wirkliche Existenz" im Wissensnetzwerk der Probanden zu ermitteln.

Bei der Ermittlung von Schülervorstellungen ist beabsichtigt, möglichst Vorstellungsinhalte aufzudecken, die zum "gefestigten Wissen" des Probanden gehören. Vermieden werden soll das "Nötigen zu Phantasieantworten". DUIT (1993) gibt zu bedenken, dass allein die Formulierung einer Frage - ob schriftlich oder mündlich - beim Befragten sowohl gefestigte Vorstellungen aktualisieren als auch spontan neue Vorstellungen hervorbringen kann. Eine Frage vermittelt immer Informationen und verändert die Vorstellungen des Probanden: Die Ermittlung von Vorstellungen ist zugleich Vermittlung von Informationen. Zwar kann eingewandt werden, dass auch spontane Antworten nur auf Grundlage des Vorwissens entwickelt werden können und insofern jede Aussage Rückschlüsse auf Wissenseinheiten der Probanden zulässt. Wie bereits erwähnt, gilt das Interesse in dieser Arbeit jedoch nicht neuen Vorstellungen, deren Viabilität sich erst in verschiedenen Alltagssituationen erweisen muss, sondern denjenigen "gefestigten" Wissensinhalten, die bereits häufig zur Interpretation und Deutung von Sinneseindrücken herangezogen wurden und deshalb wohl auch in Zukunft herangezogen werden.

4. ... nur mit Hilfe von Sprache und den damit verbundenen Schwierigkeiten des Interpretierens (Verstehen und Wichten von Einzelaussagen) zu ermitteln.

Vorstellungen sind nicht unmittelbar zu beobachten, da Sprache allgemein (hier weit gefasst verstanden, wie Worte, Sätze, Gestik, Mimik, Zeichnungen) selbst keine Informationen trägt (vgl. Kernaussage 4, S. 60). "Grundsätzlich gilt, daß es in der Regel keinen direkten Weg von Schüleräußerungen zu Schülervorstellungen gibt." (JUNG 1985). Der Interpret muss stets von Wahrgenommenem auf seine Bedeutung schließen. Deshalb können im Rahmen dieser Arbeit nur Vorstellungen über die Vorstellungen der Schüler entwickelt werden. Beliebigkeit ist dennoch verhin-derbar: Nach SCHÜTZE (1973) kann ein Interpretationsprozess mit dem Anspruch auf hohe Objektivität durch "methodisch kontrolliertes Fremdverstehen" erreicht werden. Dabei gilt jedoch: Auch eine systematische Auswertung, die geprägt ist durch das Bemühen um interpretatorische Objektivität, verhindert keineswegs ganz, dass die subjektive Weltsicht des Forschers die Ergebnisse mitbestimmt (vgl. BORTZ & DÖRING 1995; LAMNEK 1993). "Das Ergebnis einer Interpretation hat den wissenschaftlichen Status einer Hypothese. Unter keinen Umständen kann mit zweifelsfreier Gewißheit und hinreichenden Gründen behauptet werden, daß eine vorgelegte Deutung gültig ist." (MOLLENHAUER & RITTELMAYER 1977).

Um die inhaltliche Weiterverarbeitung der in dieser Arbeit ermittelten Schülervorstellungen (z.B. durch das Formulieren von Grundvorstellungen) qualitativ zu erhöhen, wurden folgende Strategien erarbeitet und angewandt:

1. Formulierung von Aufgaben und Fragen, die mit dem Wortschatz der Jugendlichen zu beantworten sind und in denen reelle Situationen aus ihrem Erfahrungsbereich thematisiert werden.

Schüler nutzen ihre Vorstellungen, um interessante Umweltbeobachtungen für sich befriedigend zu erklären. Um Schüler zu veranlassen, ihre Vorstellungen anzuwenden, wurden ihnen Aufgaben und Fragen gestellt, in denen Situationen aus ihrem möglichen Erfahrungsbereich thematisiert werden. Diese Alltagssituationen stammten stets aus den Themenbereichen, die durch die Assoziationsbefragung ermittelt worden waren. Dabei sollte durch den Bezug zu Alltagsphänomenen die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, dass die befragten Schüler ihre durch vorherige eigene Überlegungen bereits gefestigten Erklärungsansätze äußern. Es wurden bewusst keine Aufgaben vorgelegt, die durch bloße Wiedergabe von Schulwissen zu lösen sind. Vielmehr sollten die Schüler die ausgewählten Problemstellungen erst dann lösen können, wenn sie eigene Erfahrungen mit dem im Schulunterricht vermittelten Wissen verknüpfen. Das Überdecken der Schülervorstellungen durch "auswendig gelerntes, aber nicht verstandenes Halbwissen" sollte damit verringert werden.

Die Fragen stammten aus den in der Voruntersuchung ermittelten Themenbereichen, so dass den Probanden ein geeigneter Wortschatz zur Beantwortung vorliegen dürfte.

Bei der Entwicklung und bei der anschließenden Auswahl von Fragestellungen und Alltagsbeispielen für die Ermittlung der Schülervorstellungen durch Vortests wurden folgende Kriterien beachtet:

- Besitzen die beschriebenen Situationen eine innere Logik? Sind sie schlüssig?
- Sind die Fragen eindeutig formuliert? Verstehen die Schüler das ihnen dargestellte Problem? Sehen sie die Problemhaftigkeit der Situation?
- Sind die Situationen den Schülern bekannt, treten sie im Schüleralltag auf, oder müssen sich die Probanden in eine für sie neue Situation hineinversetzen?
- Decken die Beispiele die gewünschten drei Themenbereiche zur Hauptuntersuchung ab (vgl. Tab. 4-15, S. 140)?

In Vortestreihen wurden Schülerbefragungen (Fragebogen und Interview) durchgeführt, die methodisch denen der späteren Hauptuntersuchung glichen. Mit ihnen stellten wir diejenigen biologischen Phänomene aus den zuvor ermittelten Themenbereichen der Assoziationsbefragung fest, die Schülern gut verständlich sind und zu denen sie ihre Vorstellungen möglichst ausführlich artikulieren können.

2. Konstruktion inhaltlich und methodisch unterschiedlicher Aufgaben zur Anwendung verschiedener Vorstellungen.

Das Formulieren von "Schülervorstellungen/Grundvorstellungen" gelingt dem Untersuchenden fundierter, wenn eine möglichst große Anzahl an Schüleräußerungen als Grundlage für die Interpretation zur Verfügung steht. Deshalb stellten wir den Schülern zu den ausgesuchten drei Themenbereichen der Hauptuntersuchung stets verschiedene Fragen bzw. Alltagssituationen vor. Die Validität der erhobenen Schülervorstellungen wurde dabei nicht nur durch wiederholtes Befragen innerhalb des Untersuchungsinstruments Fragebogen hergestellt, sondern auch durch das wiederholte Befragen im Rahmen eines weiteren Untersuchungsinstruments, der qualitativen Absiche-

rung der ermittelten Inhalte der Schülervorstellungen durch Interviews. Andere Schüler als die der Fragebogenuntersuchung wurden zu den gleichen Themenbereichen im Interview befragt.

Die Reliabilität der eingesetzten Untersuchungsinstrumente (Fragebogen und Interview) wurde dadurch überprüft, dass gleiche bzw. ähnliche Aufgabenstellungen in neun Begleitstudien (vgl. Kap. 4.5.6.4, S.202) zeitlich parallel (Paralleltestmethode) und versetzt (Retest-Reliabilität) angewandt wurden (BORTZ & DÖRING 1995).

3. Einplanung der Möglichkeit für Schüler, sich schriftlich und mündlich sowie anhand konkreter Objekte zu ihren Vorstellungen zu äußern.

Bei der Formulierung von Gedankengängen und Ideen nutzen Schüler unterschiedliche Hilfsmittel unterschiedlich intensiv und gerne (VESTER 1982). Deshalb wurden die Vorstellungen sowohl schriftlich mit Hilfe von Fragebögen - freie Antwortmöglichkeit und Multiple choice (Frage A2) - als auch mündlich mit Hilfe von halbstandardisierten Interviews ermittelt. Zur besseren Anschaulichkeit wurden im Interview Zeichnungen, Realobjekte und Fotos eingesetzt.

4. Aussortierung und mehrfache Auswertung der Datensätze.

Um die Validität der Schülervorstellungen/Grundvorstellungen zu erhöhen, wurden zwei aufeinander aufbauende Schritte unternommen (kumulative Validierung, BORTZ & DÖRING 1995): Zum einen wurden nur die Fragebogen- und Interview-Daten derjenigen Schüler berücksichtigt, deren Äußerungen ehrlich und ernsthaft erschienen. Fragebögen und Interviews, die an mindestens einer Stelle deutlich Formulierungen von Unlust enthielten, sowie offensichtliche Blödsinnsantworten oder Beschimpfungen wurden aussortiert (Anmerkung: Aus dem genannten Grund wurden im Rahmen dieser Arbeit zwar 22 Fragebögen, jedoch kein Interview aussortiert). Zum anderen wurden die Schritte zur Erhebung, Aufbereitung und Auswertung des Datenmaterials dokumentiert (vgl. MAYRING 1990) und die Aufbereitung und Auswertung unabhängig von verschiedenen Personen wiederholt. Um Vorstellungsinhalte von Schülern in "geordnete Worte" zu fassen, müssen u.a. Schülerantworten zusammengefasst, präzisiert und z.T. fehlende Gedankengänge ergänzt werden. Durch interpersonale Konsensbildung (BORTZ & DÖRING 1995) sollten die unvermeidlichen Interpretationsdiskrepanzen minimiert werden (genaue Hinweise zur Datenaufarbeitung vgl. Kap. 4.5.3 (Fragebogen) und 4.5.4 (Interview)).

Eine weitere Absicherung der Daten wurde durch den Einsatz der bereits erwähnten Begleitstudien und durch den Vergleich der erzielten Ergebnisse mit anderen Untersuchungen zum Themenbereich erreicht (vgl. Kap. 4.5.6.7, S. 213f).

4.5.3 Methode: Fragebogen

4.5.3.1 Entwicklung des Fragebogens

Der zu entwickelnde Fragebogen musste folgenden inhaltlichen Ansprüchen und vorgegebenen schulorganisatorischen Bedingungen genügen:

1. Die durch den Bogen erhobenen Schülervorstellungen aus Unter-, Mittel- und Oberstufe sollten direkt vergleichbar sein, um die möglichen Veränderungen der Vorstellungen im Laufe der Schulzeit analysieren zu können. Deshalb wurden die Aufgaben so ausgewählt und formuliert, dass in allen Jahrgangstufen die gleichen Fragen und Aufgabenstellungen eingesetzt werden konnten. Insbesondere auf sprachliche Klarheit und Einfachheit der Formulierungen wurde geachtet.

2. Aus schulorganisatorischen Gründen sollte der Fragebogen sowohl von Schülern der Unter- als auch der Oberstufe in einer Schulstunde (45 Minuten) sinnvoll bearbeitet werden können. Erfahrungen aus Vortests hatten gezeigt, dass maximal 11 Fragen in einer Schulstunde ausführlich und sinnvoll bearbeitet werden können. Um die oben genannten drei Themenbereiche A bis C (vgl. Tab. 4-15, S. 140) mit mehreren Fragestellungen abdecken zu können, wurden zwei Fragebogensätze mit je 11 Fragen erarbeitet. Da bei der Auswahl der einzelnen Aufgaben die Fragen "Versuche zu beschreiben, was Du Dir unter Energie vorstellst." und "Leben - Tod - Verwesung - Wärme - Energie - Ordnung. Versuche, mit diesen Wörtern einen kurzen zusammenhängenden Text zu schreiben." wegen ihrer Relevanz für alle drei Themenbereiche als besonders wichtig eingestuft wurden und deshalb in beiden Bögen unverändert vorhanden sein sollten, reduzierte sich die Anzahl der unterschiedlichen Aufgaben auf 20.

Nach BORTZ & DÖRING (1995) ist " (...) eine verständliche, die Handhabung des Fragebogens eindeutig anleitende Instruktion bei schriftlichen Befragungen unverzichtbar." Der Anfang beider Fragebögen wurde deshalb wie folgt gestaltet: Zu Beginn wurde eine kurze Erläuterung über den Zweck der Untersuchung gegeben. Aus Gründen der Motivation wurde dabei den Schülern verdeutlicht, dass sie durch das Bearbeiten der Fragebögen die Chance hätten, Unterricht zu verbessern. Das Eigeninteresse sollte damit gestärkt werden. Anschließend wurde deutlich herausgestellt, dass es sich bei diesem Fragebogen nicht um einen Test handle und kein Lehrer die Schülerantworten kontrollieren würde. Daraufhin wurden die Schüler gebeten, die Fragen stets ausführlich zu beantworten, und ermutigt, auch dann eine Aussage niederzuschreiben, wenn sie sich bei der Beantwortung nicht sicher seien. Falsche Antworten gäbe es nicht.

Nachfolgend wurden für die spätere Analyse der Antworten in Abhängigkeit von ausgesuchten unterrichtsrelevanten Faktoren folgende persönliche Daten erhoben: Schule, Muttersprache¹², Jahrgangstufe, Alter, Geschlecht, naturwissenschaftliches Interesse und Angaben zu Differenzierungsunterricht (ab Jahrgang 9) bzw. Leistungskurswahl (Jahrgang 11 und 12).

Um einen Anhaltspunkt zu bekommen, wie schwer oder leicht den Schülern die Beantwortung der Fragen gefallen war, wurden sie zum Ende jeder Aufgabe gebeten, anzukreuzen, ob sie vor der Beantwortung längere oder kurze Zeit überlegen mussten. Bei schnell gegebenen Antworten gehen wir eher davon aus, dass gängige Alltagsvorstellungen zur Anwendung kamen. Bei längerem Überlegen könnte eher die Gefahr bestehen, dass Schüler eine "Auswegantwort" gaben, die ihren eigentlichen Überzeugungen nicht oder nur weniger entspricht oder die auf angeletem Halbwissen beruht.

Nach BORTZ & DÖRING (1995) wird bei Fragebogenuntersuchungen von Probanden bei empfundener Unsicherheit eher auf konkrete als auf allgemeine Fragen eine Antwort gegeben. Durch das Auswählen konkreter Alltagsbeispiele wurde versucht, den Schülern diesbezüglich das Antworten zu erleichtern. Aufgrund der Ergebnisse der Voruntersuchung stammten diese Fragen zu allen Themenbereichen (A, B und C) möglichst häufig aus dem Themenfeld "Mensch". Der Bereich C wurde zusätzlich durch Fragen zu den Themenfeldern "Natur" (Klimaerscheinungen, Wärme) und "Assimilation- biotischer Energiefluss" untersucht. Bei der Formulierung der Fragen wurde darauf geachtet, dass eine Frage stets nur einen Inhalt abdeckte und nicht in verschiedene Teilaspekte gegliedert war. Unübersichtliche und komplexe Fragen wurden damit verhindert.

¹² Ursprünglich sollte auch der Faktor Muttersprache hinsichtlich seines Einflusses auf die Vorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" analysiert werden. Da jedoch bei vielen Schülern im Alter der Sekundarstufe I, die nicht Deutsch als Muttersprache besaßen, Schwierigkeiten beim Ausfüllen der Fragebögen auftraten, wurde die Anzahl der berücksichtigten Schüler mit nicht Deutsch als Muttersprache zu gering, um sie zu einer eigenen Probandengruppe zusammenfassen zu können.

Der Fragebogen sollte nach BORTZ & DÖRING (1995) eine ansprechende Gestaltung aufweisen, die einzelnen Fragen sollten Aufforderungscharakter besitzen.

Aus Gründen der Motivation lockerten deshalb kleine Abbildungen von Comic-Figuren das Erscheinungsbild der Bögen auf. Bei der Auswahl der Abbildungen wurde darauf geachtet, dass kein direkter und damit möglicherweise die Antwort beeinflussender Bezug zu den Aufgabenstellungen hergestellt werden konnte.

Bei der Bemessung des pro Aufgabe zur Verfügung gestellten Platzes zur Beantwortung der Fragen musste ein Kompromiss eingegangen werden. Einerseits kann ein großer Platz auffordernd wirken und zu einer möglichst ausführlichen Antwort motivieren, andererseits kann ein zu großer Platz zur Verunsicherung beitragen, nicht alles Notwendige zur Beantwortung der Frage zu wissen. Der tatsächlich zur Lösung der Aufgaben zur Verfügung gestellte Raum wurde so bemessen, dass jeweils die längsten Antworten, die in Vortests gegeben worden waren, darauf ausreichend Platz gefunden hätten. Damit sollte für alle Schüler ausreichend und für die meisten Schüler sogar so viel Schreibplatz vorhanden sein, dass der oben beschriebene Aufforderungscharakter zum Tragen kam. Auch die Schüler der 5. Jahrgänge durften wegen ihres breiteren Schriftbildes den zur Verfügung gestellten Platz als angemessen empfunden haben.

Ein wichtiger Aspekt bei der Gestaltung eines Fragebogens wird in der Aufeinanderfolge der einzelnen zu erfragenden Themenbereiche und in der Abfolge der einzelnen Fragen gesehen. ATTESLANDER (2000) formuliert hierzu: "Fragen zum gleichen Themenkreis sollen nacheinander folgen, damit der Befragte nicht zu ständigen Gedankensprüngen gezwungen wird. Dabei folgt am besten das Besondere nach dem Allgemeinen, das Unvertraute nach dem Vertrauten, das Komplizierte nach dem Einfachen.". Derartige Überlegungen greifen jedoch nur eingeschränkt bei der Entwicklung des Fragebogens zur Analyse der Energievorstellungen. Denn im Rahmen dieser Arbeit wurden vornehmlich nicht Sachfragen zu bestimmten eingrenzbaaren Themenbereichen gestellt, sondern verschiedene Alltagsphänomene als Anlass eingesetzt, um die Energievorstellungen der Schüler zur Klärung von konkreten Phänomenen anzuwenden. Die einzelnen Fragen waren dabei "nur" ein Anlass, Energievorstellungen zu aktivieren (vgl. Methodendesign in Kap. 4.5.2, S. 141). Aus diesem Grund war es auch unerheblich, ob alle Schüler das zur Erklärung der angesprochenen Phänomene nötige Wissen durch vorherigen Schulunterricht parat hatten bzw. parat haben konnten. Da - auch nach den Vortests - nicht eindeutig war, bei welchem Schüler welche Bereiche der Energievorstellungen durch die einzelnen Fragen angesprochen wurden (vgl. Tabelle 4-18, nächste Seite), war eine Zuordnung der Fragen zu Themenkreisen oder zu verschiedenen Ebenen der Komplexität oder Vertrautheit (vgl. ATTESLANDER 2000) kaum möglich.

Ungeachtet dieser Überlegungen konnte eine Beeinflussung der Ergebnisse durch die Abfolge der Fragen bereits durch die Erfahrungen der Vortests ausgeschlossen werden: Zum einen wurde festgestellt, dass ein und dieselbe Frage in verschiedenen Fragebögen tendenziell ähnliche Ergebnisse erbrachte, ohne dass ein Bezug zu anderen Fragen aus den Fragebögen deutlich wurde (vgl. Ergebnisse der Begleitstudien und BURGER 1991, 1994). Zum anderen wurde in den Vortests und den Begleitstudien oft festgestellt, dass die Schüler sich vor dem ersten Bearbeiten einer Frage einen Überblick über den gesamten Fragebogen verschafften. Durch unsystematisches "Anlesen" einzelner Aufgaben oder durch das Bearbeiten von Aufgaben ohne Beachtung der Reihenfolge verliert der Aspekt der Fragenabfolge an Relevanz.

Die nachfolgende Tabelle gibt die Inhalte der Fragen von Bogen A und B wieder. Jeder Frage sind diejenigen Themenbereiche (A1 bis C, vgl. Tab. 4-15, S. 140) zugeordnet, die hauptsächlich mit der Aufgabe untersucht werden sollten (Originale der Fragebögen im Anhang IV).

Tab. 4-18: Fragestellungen und Aufgaben der beiden Fragebögen A und B und ihre Zuordnung zu den Themenbereichen A bis C (vgl. Tab. 4-15, S. 140)

| Fragestellungen und Aufgaben der Fragebögen A und B | Themenbereiche |
|--|----------------|
| A1 Wenn wir Hunger haben, essen wir etwas - das ist bekannt. Aber warum genau braucht unser Körper eigentlich Nahrungsmittel? | A2, C |
| A2 Auf der Verpackung von Müsliriegeln steht, dass in ihnen viel Energie steckt. In welchen Bestandteilen der Riegel steckt für unseren Körper nutzbare Energie? Kreuze an! • Fette • Eiweiße (Proteine) • Kohlenhydrate (Zucker) • Wasser • Vitamine • Mineralstoffe/Spurenelemente (z.B. Eisen, Calcium) Beschreibe für einen Nahrungsbestandteil Deiner Wahl ganz genau, wo in ihm die für unseren Körper nutzbare Energie steckt. | A1, B1 |
| A3 Beim Essen eines Schokoladenriegels "Mars" hast Du ein wenig Energie zu Dir genommen. Der kleine Hunger ist gestillt. Was passiert in Deinem Körper mit der aufgenommenen Energie? | A, B |
| A4 Wenn man Sport treibt, wird einem schnell warm. Versuche möglichst genau zu erklären, woher diese Wärme stammt. | B, C |
| A5/B3 Versuche zu beschreiben, was Du Dir unter Energie vorstellst. | A, B, C |
| A6 Welchen Zusammenhang erkennst Du in der Reihenfolge der Worte "Sonne, Pflanzen, Tiere, Menschen, Wärme", der mit Energie in Verbindung steht? | A, B, C |
| A7 Was hältst Du von der Aussage: Wenn man ganz still sitzt und eine Rechenaufgabe im Kopf löst, braucht man keine Energie, da man sich nicht bewegt. Begründe Deine Antwort ausführlich. | A2, B2 |
| A8 Löwen verhungern, wenn sie bei ihren Hetzjagden einige Male hintereinander nur kleine Beutetiere fangen konnten. Versuche, das zu erklären. | A, B, C |
| A9 An heißen Sommertagen trinkt man mehr und isst weniger. Man trinkt mehr, weil man schwitzt. Aber warum isst man weniger? | A, B, C |
| A10 Salamander, Schildkröten und Insekten bewegen sich bei 15°C Außentemperatur langsamer als bei 30°C. Wie ist das zu erklären? | A, B2, C |
| A/B11 Leben - Tod - Verwesung - Wärme - Energie - Ordnung. Versuche, mit diesen Wörtern einen kurzen zusammenhängenden Text zu schreiben. | A, B, C |
| B1 Der Körper und damit auch das Blut eines gesunden Menschen ist immer zwischen 36 °C und 37 °C warm. Versuche zu erklären, woher diese Wärme stammt. | B, C |
| B2 Ein Raubvogel mit einem Gewicht von 1 kg frisst in einem Jahr ungefähr 10 kg Mäuse. Diese 10 kg Mäuse fressen wiederum ca. 100 kg Getreidekörner. Ein Raubvogel nimmt also, wenn er Mäuse frisst, in einem Jahr die Energie auf, die in 100 kg Getreidekörnern steckt. Würde sich der Raubvogel direkt von Getreidekörnern ernähren, bräuchte er nur ca. 10 kg davon zu fressen. Die Energie von 90 kg Getreidekörnern könnte so gespart werden. Versuche, das zu erklären. (vgl. Anmerkung auf S. 153) | A, B, C |
| B4 Herabfallende Regentropfen besitzen eine bestimmte Menge Energie. Diese Bewegungsenergie kann man deutlich spüren, wenn Regentropfen auf unsere nackte Haut treffen. Was passiert mit der Bewegungsenergie der Regentropfen, wenn die Tropfen auf unsere Haut stoßen? | B2, C |
| B5 Energie, die man durch reichhaltiges Essen aufgenommen hat, aber nicht benötigt, speichert der Körper. Versuche genau zu erklären, wo und wie im Körper diese überschüssige Energie gespeichert wird. | B1, C |
| B6 Wie gelangt die Energie aus der Nahrung in den Körper, z.B. in die Muskeln? | A1, B, C |
| B7 In Misthaufen leben viele Lebewesen, die den Abfall zu Humus umwandeln. Wenn man an trüben und kalten Wintertagen in einem solchen Misthaufen die Temperatur mißt, stellt man verutzt fest, dass es trotz der niedrigen Außentemperaturen im Innern sehr warm ist. Versuche genau und ausführlich zu erklären, woher diese Wärme stammt? | B2, C |
| B8 Im Sommer laufen in unserer Haut bestimmte chemische Vorgänge ab, die zur Bräunung der Haut führen. Welche Aufgabe hat die Sonnenenergie bei der Braunfärbung der Haut? Erkläre bitte so ausführlich wie möglich. | A, B, C |
| B9 Um Energie aufzunehmen, essen Menschen oft Pflanzen oder Teile von Pflanzen (z.B. Salat oder Getreidekörner im Brot). In Pflanzen ist also Energie enthalten. Pflanzen "essen" aber nicht. Wie gelangt dennoch Energie in die Pflanzen? | A, B, C |
| B10 Quallen sind fast völlig durchsichtige Meerestiere. Sie schwimmen meist in den oberen Wasserschichten. Für ihre Bewegung benötigen sie Energie. Beschreibe, wo die Energie in den Tieren steckt. | A1, B1 |

Bei der Auswahl der Fragen wurde auf eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Themenbereiche in Hinblick auf das Auswertungskriterium Kontextflexibilität (Kf-Wert, vgl. Kap. 4.5.3.3, S. 157) geachtet.

Für die Untersuchung des biotischen Energieflusses in Ökosystemen (Themenbereich C) wurden in Ermangelung an Alltagsbeispielen, die sich in Vortests als geeignet herausgestellt hatten, auch Fragen formuliert, die zwar zu den Themenbereichen des Vortests passen, jedoch keinen direkten Alltagsbezug besitzen.

Anmerkung zur Aufgabe B2: Die Zahlenangaben simplifizieren hier den Zusammenhang. Verluste durch Umwandlungsprozesse bleiben bei der Aufgabenstellung bewusst unberücksichtigt, um auch Schülern, die die entsprechenden Unterrichtsinhalte noch nicht behandelt haben, durch die fachlich korrekten Zahlen nicht zu verwirren. Schüler, die die Zusammenhänge verstanden haben, könnten auf die Ungenauigkeiten bei ihrer Antwort eingehen.

4.5.3.2 Durchführung der Fragebogenuntersuchung

Die Hauptbefragung wurde in den letzten drei Wochen vor den Sommerferien des Schuljahres 1995/96 in NRW an drei Gymnasien des ländlich geprägten Raumes Gütersloh, an drei Gymnasien im Kerngebiet der Großstadt Bielefeld (Oberzentrum) und an der Gesamtschule Hiddenhausen im ländlichen Umfeld der Städte Bielefeld und Herford durchgeführt¹³. Insgesamt 750 Fragebögen der Fragebogenserie A und 750 Fragebögen der Fragebogenserie B wurden mit entsprechendem Begleitmaterial persönlich an den sieben ausgewählten Schulen verteilt. Pro Gymnasium sollten in den Jahrgangstufen 5, 8 und 10 der Sekundarstufe I sowie den Jahrgangstufen 11 und 12 der Sekundarstufe II jeweils zwei Klassen/Kurse mit einer Klassen-/Kursstärke von 20 - 25 Schülern befragt werden.

Nach den Überlegungen zur Stichprobengröße hätten insgesamt nur 250 Fragebögen (Faustwert bei der Befragung von fünf Jahrgangstufen und zwei Schulumgebungen ($25 \times 5 \times 2 = 250$)) mal 2 (wegen der beiden Fragebögen A und B) = 500 Fragebögen an den Gymnasien und weitere 250 Fragebögen an der Gesamtschule (25×5 Jahrgangstufen \times 2 Fragebögen = 250, Faktor Schulumgebung fällt bei der Befragung einer Schule weg), insgesamt also 750 Fragebögen bearbeitet werden müssen. Die Verdopplung der eingesetzten Fragebogenanzahl auf 1500 (Bogen A + B) sollte eine sinnvolle Auswertung auch bei ungleichmäßigem Rücklauf gewährleisten.

Um einen möglichen Bezug zu Unterrichtsfächern zu vermeiden, wurden die Befragungen in der Sekundarstufe I im Vertretungsunterricht und in der Sekundarstufe II in verschiedenen nicht naturwissenschaftlichen Kursen jeweils vom jeweiligen Vertretungs- bzw. Kurslehrer durchgeführt. Alle an der Untersuchung beteiligten Lehrer wurden per Begleitschreiben und z.T. zusätzlich persönlich gebeten, die Bögen der Serie A und B gleichmäßig in den Klassen/Kursen zu verteilen und während der Bearbeitungszeit keinerlei inhaltliche Hilfestellung zu geben. Die ausgefüllten Bögen wurden zu Beginn des Schuljahres 1996/1997 eingesammelt.

4.5.3.3 Auswertung der Fragebogenuntersuchung

Auswahl der Fragebögen

Von den 1500 ausgeteilten Fragebögen konnten ca. 1300 ausgefüllt eingesammelt werden. Ausortiert wurden zunächst Bögen, die falschen Klassenstufen angehörten (58), die unvollständig im

¹³ Diese einzelne Gesamtschule wurde in die Untersuchung einbezogen, da an ihr ein Großteil der in Kap. 5 dargestellten Praxiserfahrungen zur Durchführung von Unterricht auf der Grundlage von Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" gewonnen wurden.

Bereich der Probandenangaben ausgefüllt waren (45) sowie diejenigen Bögen, die offensichtlich von Schülern nicht ernsthaft ausgefüllt worden waren (22).

Eine erste inhaltliche Analyse der Fragebögen machte einen deutlichen Unterschied zwischen der Assoziationsbefragung und der Fragebogenstudie deutlich: Da bei der Fragebogenstudie im Gegensatz zur Assoziationsbefragung nun nicht nur einzelne Worte genannt, sondern z.T. komplexere Zusammenhänge beschrieben werden mussten, zeigten sich vor allem bei Schülern der Sekundarstufe I, die nicht Deutsch als Muttersprache angegeben hatten, z.T. gravierende Schwächen in der Fähigkeit, Antworten verständlich zu formulieren. Um möglichen Missverständnissen bei der Auswertung vorzubeugen, wurden deshalb die Bögen von denjenigen Schülern aussortiert, deren Ausdrucksmöglichkeit *deutlich* unter dem durchschnittlichen Sprachniveau lagen. Von diesen insgesamt 80 Bögen waren viele von Schülern, die Deutsch nicht als Muttersprache angegeben hatten. Hervorzuheben ist jedoch, dass nicht pauschal die Bögen solcher Schüler aussortiert wurden, die sich nicht gut schriftlich ausdrücken konnten. Durch die Voruntersuchungen zur Erstellung des Fragebogens und durch eigene Berufserfahrungen wurde nämlich die Tendenz deutlich, dass generell in vielen Fächern schwächere Schüler auch gehäuft naturwissenschaftlich falsche Vorstellungen besitzen. Aussortiert wurden deshalb in Hinblick auf eine möglichst geringe Verzerrung bezüglich des Spektrums und der Auftrittshäufigkeit von Vorstellungen nur diejenigen Fragebögen, bei denen aufgrund der geringen Sprachqualität eine deutlich erhöhte Gefahr des Missverstehens bestand.

Obwohl die Schulleitungen gebeten worden waren, die Jahrgänge - wie angegeben - möglichst gleichmäßig zu befragen, lag der Schwerpunkt der eingesammelten Bögen deutlich im Bereich der Jahrgangstufen 5 und 10. Deutlich zu wenig Bögen lagen aus der Oberstufe vor. Um eine Gleichgewichtung der Jahrgangstufen zu erreichen, wurde die mögliche Höchstanzahl an Probanden des am schwächsten vertretenen Jahrgangs als Obergrenze festgelegt (112 Schüler des Jahrgangs 11), und alle weiteren Jahrgänge wurden dieser Probandenanzahl durch Zufallsauslese angeglichen.

Probanden der Fragebogenuntersuchung

Insgesamt 784 Schüler aus 3 ländlichen und 3 städtischen
Gymnasien sowie einer Gesamtschule

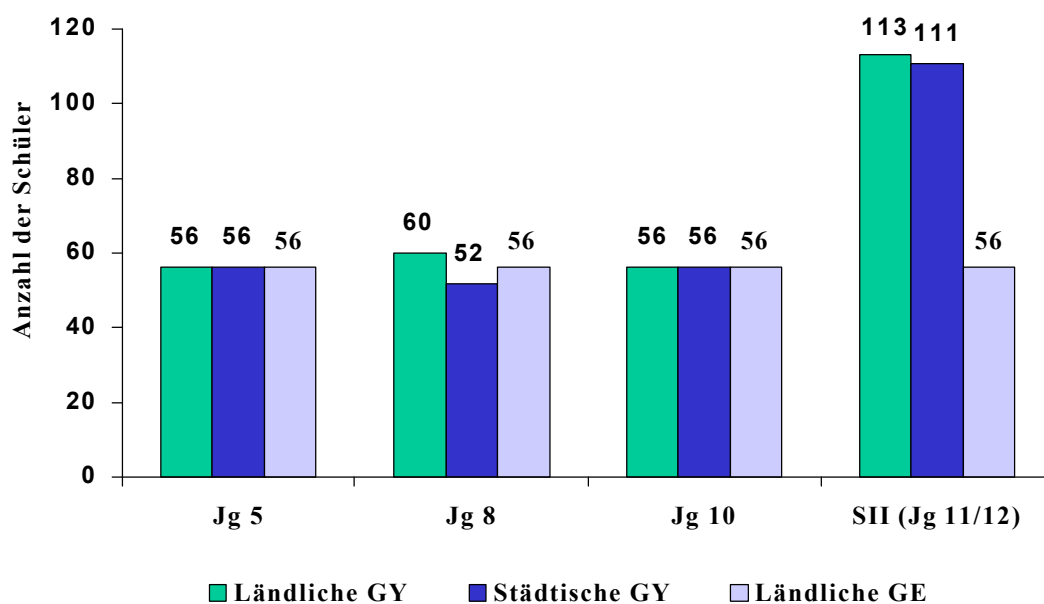


Abb. 4-3: Überblick über die in die Auswertung einbezogenen Probanden

Dabei wurden gleichzeitig die Gleichverteilung der Bögen A und B, die Gleichverteilung der städtischen und ländlichen Probanden sowie die Gleichverteilung der Geschlechter berücksichtigt. Einen Überblick über die in die Auswertung einbezogenen insgesamt 784 Probanden gibt die Abbildung 4-3, genaue Angaben sind der Tabelle 4-19 zu entnehmen.

Da die ausgewählte Gesamtschule nur eine sehr kleine Oberstufe besitzt, konnten in den Jahrgängen 11 und 12 insgesamt nur 56 Schüler befragt werden. Die Probandenanzahl der anderen Jahrgänge wurde - ähnlich wie bei der Eingrenzung der gymnasialen Fragebögen - dementsprechend durch zufällige Aussortierung angeglichen.

Die angestrebte Probandenanzahl von 500 Gymnasiasten und 250 Gesamtschülern wurde erreicht.

Tab. 4-19: Übersicht über die Probanden der Fragebogenstudie

Beteiligte Schulen und Schüler an der Fragebogenuntersuchung zum Thema "Energie im biologischen Kontext", durchgeführt vom 20.06.1996 bis 02.07.1996

| Schulen und ihre Lage | Jahrgang 5 | | Jahrgang 8 | | Jahrgang 10 | | Jahrgang 11 | | Jahrgang 12 | |
|---|------------|----|------------|----|-------------|----|-------------|----|-------------|----|
| | A | B | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Kreis-GY Halle in Westfalen | 14 | 14 | 14 | 14 | 11 | 17 | 20 | 21 | 14 | 19 |
| Einstein-GY in Rheda | 14 | 14 | 14 | 14 | 13 | 14 | 7 | 8 | 13 | 11 |
| Rats-GY in Wiedenbrück | 0 | 0 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Schüler der ländlichen Gymnasien pro Bogenart | 28 | 28 | 32 | 28 | 25 | 31 | 27 | 29 | 27 | 30 |
| Schüler der ländlichen Gymnasien pro Jahrgang | 56 | | 60 | | 56 | | 56 | | 57 | |
| Schüler der ländlichen Gymnasien insgesamt | 285 | | | | | | | | | |
| Cecilien-GY in Bielefeld | 9 | 10 | 11 | 10 | 17 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 |
| Rats-GY in Bielefeld | 10 | 10 | 6 | 10 | 2 | 0 | 9 | 9 | 4 | 6 |
| Heeper GY in Bielefeld | 8 | 9 | 7 | 8 | 12 | 14 | 9 | 10 | 16 | 14 |
| Schüleranzahl d. städtischen Gymnasien pro Bogenart | 27 | 29 | 24 | 28 | 31 | 25 | 28 | 28 | 28 | 27 |
| Schüleranzahl d. städtischen Gymnasien pro Jahrgang | 56 | | 52 | | 56 | | 56 | | 55 | |
| Schüleranzahl der städtischen Gymnasien insgesamt | 275 | | | | | | | | | |
| Schüleranzahl aller Gymnasien pro Jahrgang | 112 | | 112 | | 112 | | 112 | | 112 | |
| Anzahl der Gymnasiasten | 560 | | | | | | | | | |
| Olof-Palme-Gesamtschule in Hiddenhausen | | | | | | | | | | |
| Schüleranzahl der Gesamtschule pro Bogenart | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 18 | 15 | 11 | 12 |
| Schüleranzahl der Gesamtschule pro Jahrgang | 56 | | 56 | | 56 | | 56 | | | |
| Anzahl der Gesamtschüler | 224 | | | | | | | | | |
| Schüleranzahl insgesamt pro Jahrgang | 168 | | 168 | | 168 | | 280 | | | |
| Schüleranzahl insgesamt | 784 | | | | | | | | | |

Inhaltliche Auswertung der Fragebögen

Die inhaltliche Auswertung der Fragebögen geschah mit dem Ziel, die Schülervorstellungen zum Thema "Energie im biologischen Kontext" zu ermitteln. In Hinblick auf die Menge der erhobenen Rohdaten (über 3100 von Hand beschriebene Fragebogenseiten) war es das Ziel der durchzuführenden qualitativen Inhaltsanalyse, auf der Basis eines elaborierten Kategorienschemas eine zusammenfassende Deutung des Materials zu erarbeiten. Im Sinn einer möglichst großen Objektivität ist das Auswertungsverfahren transparent, intersubjektiv nachvollziehbar gestaltet und deshalb in standardisierte Arbeitsschritte gegliedert (vgl. HEINZE, LOSER & THIEMANN 1981).

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte fünfschrittige Auswertungsverfahren orientiert sich an den Vorgehensweisen, die MAYRING (1990) in seiner qualitativen Inhaltsanalyse vorschlägt. Sein Verfahren ist in drei Phasen gegliedert:

Erste Phase: Zusammenfassende Inhaltsanalyse

Kürzung des Ausgangstextes durch Paraphrasierung (Streichung ausschmückender Textstellen, Transformation auf grammatikalische Kurzformen), Generalisierung (Verallgemeinerung konkreter Beispiele) und Reduktion (Kürzen durch Zusammenfassen ähnlicher Paraphrasen).

Zweite Phase: Explizierende Inhaltsanalyse

Klärung unklarer Aussagen unter Zuhilfenahme anderer Textstellen eines Probanden.

Dritte Phase: Strukturierende Inhaltsanalyse

Ordnung der in Phase eins und zwei zusammengefassten und explizierten Textaussagen anhand eines an der Fragestellung der Untersuchung ausgerichteten Kategorienschemas. (Zusammenfassung in BORTZ & DÖRING 1995)

Die fünf Arbeitsabläufe zur inhaltlichen Auswertung der Fragebogenuntersuchung sind im Folgenden beschrieben:

1. ERSTELLEN DER KURZFASSUNGEN DER SCHÜLERANTWORTEN (KSA)

In einem ersten Schritt wurden zunächst alle Formulierungen ausgewählt, die Rückschlüsse auf die Schülervorstellungen zur Thematik "Energie im biologischen Kontext" zulassen. Antworten, die keinen erkennbaren Bezug zur Fragestellung besaßen, wurden damit aussortiert. Da die Schüler aller Jahrgänge bei der Beantwortung der Fragebögen gleiche oder sich stark ähnelnde Aussagen und Formulierungen benutzt hatten, wurden in einem zweiten Schritt - für jede Frage getrennt - alle inhaltlich identischen Schüleraussagen kurz zusammengefasst (im weiteren mit KSA abgekürzt). Hierbei wurden die Schülerantworten paraphrasiert, durch die Verallgemeinerung konkreter Beispiele generalisiert und durch nur einmalige Aufnahme ähnlicher Formulierungen als eine einzelne KSA reduziert (vgl. Erste Phase der Inhaltsanalyse). Die Formulierung der verschiedenen KSA war weitestgehend an die Wortwahl der Originalantworten angelehnt. Besonders im Zusammenhang mit dem Wort Energie benutzte Verben und Adjektive wurden genau berücksichtigt (z.B. wird unterschieden zwischen " ... der Mensch braucht Energie" und " .. der Mensch verbraucht Energie").

Jeder Einzelaussage (KSA) wurde eine Codenummer zugewiesen. Pro Frage wurden zwischen 16 und 80 KSA aufgestellt, für alle 20 Fragen beider Bögen insgesamt 883 KSA. Ein Überblick über die KSA findet sich im Anhang V.

Das Formulieren der KSA weist Ähnlichkeiten zu den von MINSTELL (1991) aufgestellten "facets" auf.

2. AUFLISTUNG DER KSA NACH HÄUFIGKEIT IHRES AUFTRETENS

Die KSA wurden nach Fragen getrennt und nach Häufigkeit ihres Auftretens sortiert aufgelistet. In diesem Schritt konnten Aussagen zusammengefasst werden, die bei der Formulierung der KSA versehentlich doppelt aufgestellt worden waren. Einen ersten Überblick über die Verteilung und damit über die Bedeutung der einzelnen Vorstellungsinhalte ergab das für bestimmte Probandengruppen getrennte Sortieren der KSA nach Auftrittshäufigkeiten. Die Probandengruppen wurden gebildet nach den Kriterien Geschlecht, Jahrgangstufe, naturwissenschaftliches Interesse, Lage der Schule (städtisch-ländlich), Schulform und Quantität des Biologieunterrichts (vgl. Kap. 4.2.2, S. 115).

3. FORMULIERUNG VON GRUNDVORSTELLUNGEN (GV)

Auf Grundlage aller KSA wurden in Hinblick auf die Themenbereiche A bis C 91 übergreifende Grundvorstellungen formuliert. Diese Grundvorstellungen fassen die Inhalte aller KSA zur Thematik "Energie im biologischen Kontext" zusammen und stellen die inhaltliche Basis für die von den Schülern getroffenen Aussagen dar (im weiteren abgekürzt mit GV, vgl. auch Kap. 4.2.3, S. 117). Bei der Formulierung der einzelnen Grundvorstellungen wurden die Aussagen der verschiedenen themenrelevanten KSA parallel betrachtet, um Zusammenhänge zu erfassen und in Hinblick auf die Fragestellungen der drei Themenbereiche A bis C möglichst trennscharfe Aussagen zu Energie aufstellen zu können (in Anlehnung an die zweite und dritte Phase: Explizierende und strukturierende Inhaltsanalyse). Da es bei der Formulierung der Grundvorstellungen um frageübergreifende, immer wiederkehrende Wissenseinheiten geht, wurde die Bindung jeder einzelnen KSA von ihrer Frage abgelöst. Hierdurch konnten - um einen Überblick über die 883 verschiedenen KSA zu bekommen - orientiert an den Themenbereichen A bis C und ihren Unterfragen zunächst verschiedene Klassen von KSA gebildet werden. Gleiche bzw. sehr ähnliche Inhalte, die sich nur durch anders gewählte Worte und Satzstellungen unterschieden, konnten gebündelt werden. Die verschiedenen Formulierungen wurden dabei jedoch nicht gestrichen oder durch eine zusammenfassende Wortwahl ersetzt, sondern blieben - in Reihe hintereinander aufgeschrieben - erhalten. Aus verschiedenen KSA wurde so z.B. die GV 19 "Energie ist in Stoffen/Dingen/Lebewesen/Teilen von Lebewesen nicht im ganzen Objekt verteilt, sondern nur an bestimmten Stellen".

Da einige Schüler in ihren Antworten allgemeine, andere Schüler wiederum nur sehr spezielle Aussagen getroffen hatten, konnten einige Grundvorstellungen - um Schüleraussagen trotz der inhaltlichen Verdichtung möglichst korrekt abbilden zu können - umfassend, andere wiederum nur mit einer geringen Allgemeingültigkeit formuliert werden.

Ein Überblick über die 91 Grundvorstellungen ist im Anhang VI zu finden.

4. ZUORDNUNG VON KSA UND GV

Nach Formulierung der Grundvorstellungen wurden die KSA den Grundvorstellungen zugeordnet (vgl. dritte Phase: Strukturierende Inhaltsanalyse). Über die Hälfte der 883 KSA passten dabei zu mehreren GV. Durch die Zuordnung der KSA wurde ein Überblick über die von jedem Probanden pro Aufgabe angewandten Vorstellungen zur Thematik "Energie im biologischen Kontext" möglich. Nach diesem Auswertungsschritt wurde deutlich, welche Grundvorstellungen in vielen Antworten und welche Grundvorstellungen bei der Beantwortung von nur wenigen Fragen zur Anwendung gekommen waren. Die Grundvorstellungen, die in vielen Antworten wiederzufinden waren, wurden von den Schülern kontextflexibel zur Erklärung der vorgestellten Phänomene eingesetzt. Je nach Anzahl der Fragen, in denen eine bestimmte Grundvorstellung wiederzufinden war, konnte jeder Grundvorstellung ein entsprechender Kontextflexibilitäts-Wert (Kf-Wert) zuge-

wiesen werden. Dieser Kf-Wert liegt bedingt durch die 20 verschiedenen Fragen der beiden Fragebögen bei minimal 1 und bei maximal 20 (Beispiel: Kf-Wert 3 der GV 1 = die GV 1 ist in den Antworten bei 3 der 20 Fragen aufgetreten.).

Eine Bestimmung absoluter Auftrittshäufigkeiten von Grundvorstellungen war bis zu diesem Auswertungsstadium noch nicht möglich, da viele Grundvorstellungen von einzelnen Probanden bei mehreren Fragen ihres Fragebogens zur Beantwortung geäußert worden waren.

5. BESTIMMUNG DER AUFTRITTSHÄUFIGKEIT VON GV

Für jeden Schüler wurde für den gesamten Fragebogen bestimmt, welche verschiedenen Grundvorstellungen zur Beantwortung der Fragen von ihm herangezogen worden waren. Dabei wurden mehrfach angewandte Grundvorstellungen (z.B. GV1 "Energie ist etwas Stoffliches" in Aufgabe 1 und Aufgabe 5) nur einfach gezählt. Mit Hilfe der auf diese Weise ermittelten GV-Profile ließen sich somit für die unter 2. genannten Probandengruppen absolute Auftrittshäufigkeiten von Grundvorstellungen bestimmen.

Das nachfolgende Beispiel zeigt, wie die einzelnen Schüleraussagen zusammengefasst und anschließend bestimmten Grundvorstellungen zugeordnet wurden (Erläuterungen folgen auf der nächsten Seite):

5.

Energie, die man durch reichhaltiges Essen aufgenommen hat, aber nicht benötigt, speichert der Körper. Versuche genau zu erklären, wo und wie im Körper diese überschüssige Energie gespeichert wird.

Sie wird in Form von Fettgewebe gespeichert.
 Wenn man Sport betreibt, wird man sie auch
 dünner, d.h. die Energie wird verbraucht.

12/15

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

6.

Wie gelangt die Energie aus der Nahrung in den Körper, z.B. in die Muskeln?

Die Nahrung wird verbrannt, dadurch entsteht
 Energie

4



Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

Abb. 4-4: Antworten eines Schülers auf die Fragen 5 und 6 des Fragebogens B im Original

Auflistung des KSA, die für die obigen Schülerantworten relevant sind

| | |
|---|-------------------------------|
| KSA zur Frage B5 | der KSA zugeordnete GV (s.u.) |
| 12 Energie wird als Fett/in Form von Fett gespeichert | 5, 10, 15, 30 |
| 3 Energie wird in Fett gespeichert | 2, 15 |
| 15 Energie wird (später) verbraucht | 91 |
| KSA zur Frage B6 | |
| 4 durch Verbrennung (von Nahrung) entsteht Energie | 1, 8, 91 |

Auflistung der GV, die für die obigen Schülerantworten relevant sind

- 1 Energie wird in Lebewesen/im Körper hergestellt (z.B. aus Nahrung)
- 2 in Stoffen/Nahrung/Nahrungsbestandteilen ist Energie enthalten/gespeichert
- 5 Energie ist etwas "Stoffliches"
- 8 durch Verbrennung von Nahrung/Nahrungsbestandteilen/Mineralstoffen entsteht Energie
- 10 Energie kann umgewandelt werden (z.B. von einer Form in eine andere Form) - es gibt verschiedene Energieformen
- 15 Energie kann in Lebewesen gespeichert werden
- 30 Energie kann direkt in "etwas" umgewandelt werden
- 91 Energie kann hergestellt und verbraucht werden

Erläuterungen:

Die handschriftlich auf den Fragebogen eingetragenen Ziffern geben die Nummern der entsprechenden KSA wieder. Die KSA 3 ist unter Punkt 2 zusätzlich aufgeführt worden, um anhand dieses Beispiels zu zeigen, wie bei der Auswertung versucht wurde, die Formulierungen der Schüler möglichst genau in den KSA widerzuspiegeln: Bei der Formulierung "Energie wird als Fett/in Form von Fett gespeichert" (KSA 12) wurde davon ausgegangen, dass der Schüler die Vorstellung hat: Die mit der Nahrung aufgenommene Energie wird direkt in Fett umgewandelt (GV 10, GV 30) und so im Menschen gespeichert (GV 15). Energie scheint demnach für diesen Schüler etwas "Stoffliches" zu sein (GV 5). Andere Probanden, deren Aussagen der KSA 3 zugeordnet wurden, wandten die fachwissenschaftlich richtige Vorstellung "Energie wird (chemisch) in einem Stoff gebunden und damit gespeichert" an.

Dieses Beispiel verdeutlicht das Problem bei der Auswertung von Schülerantworten, auf welches in diesem Kapitel Bezug genommen wurde und das bereits zu Beginn des Kapitel 3.1.4 (S. 86f) ausführlicher diskutiert worden war: Werden Schüleräußerungen genau analysiert, so kann eine nur wenig andere Wortwahl schon einen völlig unterschiedlichen Zusammenhang bedeuten ("in Fett" versus "in Form von Fett"). Ungewiss bleibt dabei, ob Schüler ihre Sprache in den betrachteten Fällen so exakt auswählen, dass eine solch genaue Untersuchung gerechtfertigt ist. Das un-rissene Problem des "richtigen Verstehens von Schüleraussagen" kann - wie bereits begründet - nicht gelöst werden. Die Strategie zur Minimierung basiert auf dem Stellen und der Auswertung mehrerer Aufgaben zu ähnlichen Themenbereichen. Unter der Annahme, dass Schüler ähnlichen Problemstellungen mit ähnlichen Vorstellungen begegnen¹⁴, könnte die Analyse, ob sich die zugeprochenen Grundvorstellungen zu einem stimmigen GV-Profil pro Schüler schlüssig verzahnen, im Fall einer weitgehend logischen Verknüpfung ein bestätigendes Indiz für die vorgenommene Formulierung und Zuordnung von KSA und Grundvorstellungen sein (vgl. Ergebnisdiskussion, Kap. 4.5.6.5). Einen weiteren Hinweis, ob die Auswertung der Wortwahl in Schüleraussagen so genau vorgenommen werden kann wie in diesem Projekt geschehen, liefern die Schülerinterviews, da hierbei die Möglichkeit der Nachfrage bestand.

¹⁴ Hiermit wird *keine* statische Verknüpfung zwischen *einem* Problem und *einem* Lösungsansatz angenommen. Wie in Kap. 3.1.4 erläutert gehen wir davon aus, dass Schüler bestimmte Vorstellungen wiederholt zur Wahrnehmung und Erklärung ähnlicher Phänomene einsetzen.

4.5.4 Methode: Interview

4.5.4.1 Entwicklung des Interviewleitfadens

Die mündlichen Befragungen zu den Schülervorstellungen sollten zur qualitativen Absicherung der mit dem Fragebogen *bereits ermittelten* Vorstellungen dienen und evtl. verdeckt gebliebene Vorstellungen aufzeigen.

Diesem Ziel folgend wurden 16 der 20 Aufgaben und Fragestellungen des Fragebogens unverändert übernommen. Nicht übernommen wurden die Fragen A3, A7, A8 und A11 (vgl. Tab. 4-18, S. 152), die sich nach den Erfahrungen der Fragebogenstudie im Vergleich aller Aufgaben als die weniger geeigneten Anlässe "zum Erzählen" erwiesen hatten. Weiterhin wurde bei der Frage A2 ("In welchen Bestandteilen eines Müsliriegels steckt für unseren Körper nutzbare Energie?") im Sinne einer offeneren Fragestellung im Interview darauf verzichtet, mögliche Bestandteile zum Ankreuzen vorzugeben.

Zusätzlich wurde die Möglichkeit genutzt, weitere Alltagsphänomene in das Interview einzubeziehen und einige Fragestellungen anhand von Fallbeispielen zu konkretisieren. Der Schwerpunkt der zusätzlich entwickelten Aufgaben und Fragestellungen lag inhaltlich einerseits bei dem aus der Assoziationsuntersuchung bekannten Themenbereich "Mensch". Berücksichtigt wurden hier alltägliche Gegebenheiten wie gängige Formulierungen, die in der Alltagssprache mit Energie in Verbindung stehen, Krankheitsbekämpfung durch Wärme und Kälte (thermische Energie) und die gängige Alltagsvorstellung, dass man durch Sonnenschein Lebensfreude, Tatkraft, Schwung und Energie gewinnt. Andererseits lag der Schwerpunkt auf der energetischen Analyse alltäglicher Beobachtungen wie "Gläser sind durchsichtig, werfen aber dennoch einen Schatten", "Zucker löst sich in warmen Flüssigkeiten besser", "Schnee verschwindet um wachsende Pflanzen" oder "Traubenzuckerplättchen (Dextroenergen) werden in der Werbung als Energiespender angepriesen".

Wie schon bei der Fragebogenstudie kam es nicht darauf an, dass die Schüler aufgrund ihres bisher erworbenen (Schul-)Wissens die einzelnen Phänomene fachwissenschaftlich korrekt und vollständig erklären konnten. Vielmehr sollte jedes gewählte Phänomen als Anlass zur Darstellung von Vorstellungen über das Thema "Energie im biologischen Kontext" verstanden werden.

Die zusätzlich zu den biotischen Phänomenen ausgewählten Aufgaben aus dem Bereich des Abiotischen sollten bei der späteren Auswertung zur Absicherung und Schärfung der Schülervorstellungen bzw. der aufgestellten Grundvorstellungen dienen.

Nach acht Probeinterviews (je vier im 5. und vier im 12. Jahrgang einer Gesamtschule) wurden Fragen, die Schülern unverständlich waren, durch verständlichere Fragen ausgetauscht, Fragestellungen präzisiert, die Reihenfolge der Fragen verändert und Alltagsbeispiele getestet, um diejenigen herauszufinden, die sich als Anlass "zum Erzählen" am besten eigneten.

Durch das Einbringen von Fotos, Realgegenständen und durch das Vorführen kurzer Versuche wurde in Anlehnung an WHITE & GUNSTONE (1992) versucht, die Fragestellungen für die Probanden möglichst deutlich und klar verständlich zu gestalten und ihre volle Aufmerksamkeit zu wecken. Die Möglichkeit, auf tatsächliche Gegenstände oder/und Situationen kommentierend oder durch Nachfragen einzugehen, sollte die einzelnen Schülervorstellungen eindeutig verständlich machen sowie die größeren Zusammenhänge, in die diese eingebettet waren, aufzeigen.

In der nachfolgenden Übersicht sind diese *zusätzlich* gestellten Fragen und benutzten Fallbeispiele gegliedert nach den drei Teilbereichen A, B und C (vgl. Tab. 4-15, S. 140) aufgeführt.

A Vorstellungen zu Energie in Organismen

- Ein Bauarbeiter muss viel arbeiten, man sagt oft: "Der hat aber viel Energie!" Was bedeutet es eigentlich genau/wissenschaftlich korrekt, wenn man sagt: "Dieser Mensch hat aber viel Energie?"

Um Schüler über Energie nachdenken zu lassen, wurden zusätzlich zwei Alltagsphänomene aus dem Bereich des Abiotischen ausgewählt:

- Das Brillenglas wirft einen Schatten. Wie kommt das? Was heißt genau "Das Glas verschluckt Licht"? (Versuch wurde mit Brille des Interviewers demonstriert.)
- Warum ist ein dunkler/schwarzer Gegenstand bei Sonnenbestrahlung heißer als ein heller? Beispiel: Schwarzer Wagen, dunkle Kleidung im Sommer? Besteht ein Zusammenhang zum Thema Energie?

B Vorkommen, Speicherung und Transport sowie Umwandlung von Energie in Organismen

- Ist Energie im/in der ... (Fallbeispiele: Menschen, Traubenzucker-Plättchen, Orange (Realobjekte wurden gezeigt)) gleich verteilt? Gibt es Stellen, an denen besonders viel oder besonders wenig Energie ist?
- Ist Energie in Haaren und Fingernägeln? Warum ist Energie (nicht) in Haaren/Fingernägeln? Woran kann man Deiner Meinung nach erkennen, dass dort Energie ist?
- In einem Zuckerstückchen ist Energie gespeichert - bewegen kann es sich aber nicht. Wieso können wir Menschen mit der Energie, die im Zucker steckt, zum Beispiel unsere Hand bewegen?
- Wie helfen Wärmelampen bzw. Kälte bei der Heilung von Krankheiten, z.B. Entzündung?
- Fallbeispiel Kressesamen: Wie kommt es, dass aus dem Samen nach ein paar Tagen ein Keimling wird? Woher stammt die Energie? Damit die Kresse schneller wächst, stellt man sie oft dorthin, wo es warm ist. Warum wächst die Kressepflanze an warmen Orten schneller?

Um Schüler über Energie nachdenken zu lassen, wurde zusätzlich ein Alltagsphänomen aus dem Bereich des Abiotischen ausgewählt:

- Warum löst sich Zucker in heißen Flüssigkeiten schneller auf als in kalten? (Versuch wurde demonstriert)

C Aufnahme und Abgabe von Energie bei Organismen

- Warum haben wir, auch wenn wir den ganzen Tag in der Sonne "gebraten" haben, abends trotzdem Hunger? Eigentlich müssten wir doch genügend Energie getankt haben!
- Ein Mensch isst sein ganzes Leben und nimmt dabei immer Energie auf. Eigentlich müsste der Mensch doch vor Energie platzen!
- Fallbeispiel Frühblüher: Auf diesem Foto sind Märzenbecher abgebildet (Foto vgl. Abb. 2-4, S. 18). Wenn Du genau hinsiehst, erkennst Du, dass ein kleines Stück der Schneedecke um jede Pflanze verschwunden ist. Kannst Du das erklären?

4.5.4.2 Durchführung der Interviews

Die Interviews wurden in den letzten drei Wochen vor den Sommerferien im Schuljahr 1996/1997 an der Gesamtschule Hiddenhausen durchgeführt. Befragt wurden insgesamt 20 Schüler: jeweils 2 Mädchen und 2 Jungen aus den Jahrgängen 5, 8, 10, 11 und 12. Die Schüler mit und ohne "natur-

wissenschaftliches Interesse" bzw. mit und ohne vermehrtem Biologiestundenanteil in den Jahrgängen 10, 11 und 12 waren in allen Jahrgängen gleich verteilt. Vermehrter Biologiestundenanteil (Aspekt Quantität des naturwissenschaftlichen Unterrichts) bedeutet im Jahrgang 10 Differenzierungsunterricht im Bereich Biologie und in den Jahrgängen 11 und 12 Besuch der Leistungskurse Biologie. Die Dauer der Interviews lag bei den Jahrgangsstufen 5 und 8 zwischen 30 und 45 Minuten und bei den übrigen Jahrgängen zwischen 40 und 100 Minuten, im Durchschnitt bei gut 50 Minuten. Vor Untersuchungsbeginn stellte sich der Interviewer den Schülern in ihrem Klassenraum vor und erklärte den Zweck der Befragung. Diese Einführung ähnelte inhaltlich dem einleitenden Text in den Fragebögen. In den nachfolgenden Unterrichtsstunden wurden die sich freiwillig beteiligenden Schüler eines Jahrganges unmittelbar nacheinander einzeln interviewt. Absprachen zwischen den Interviewten konnten so so gering wie möglich gehalten werden.

Ort der Befragung war aus organisatorischen Gründen kein Raum außerhalb der Schule, sondern ein mit Teppichboden, Sesseln und Gardinen gemütlich eingerichteter Aufenthaltsraum im Schulgebäude, der aufgrund seiner im Vergleich zu den gängigen Aufenthaltsräumen der Schüler untypischen Einrichtung den Charakter eines "neutralen Bodens" (WITTKOWSKY 1994) vermittelte.

Die bequemen Sitzmöbel konnten so arrangiert werden, dass der entstehende Abstand groß genug war, um den persönlichen Raum beider Gesprächspartner nicht zu verletzen. Auf einem kleinen Beistelltisch standen Süßigkeiten und jeweils ein frisches Glas Wasser bereit. Zu Beginn des Interviews stellten sich Interviewer und Interviewter kurz einander persönlich vor. Anschließend wurde nochmalig herausgestellt, dass diese Befragung nichts mit der Schule zu tun hätte und auch einfache Ideen zur Beantwortung einer Frage völlig ausreichen würden. Um die vor allem zu Anfang des Interviews für Schüler ungewohnte Situation zu entschärfen, wurde zunächst ein kurzes Gespräch zu außerschulischen Themen geführt (augenblickliche Freizeitbeschäftigungen und Vorhaben für die Sommerferien). Nach der "Aufwärmphase" (vgl. WIEKEN-MAYSER 1974) stellte der Interviewer die vorbereiteten Fragen. Nach jeder Fragestellung wurde den Schülern eine längere Denkpause zur Beantwortung eingeräumt. Erst wenn die Schüler zu schnell aufgaben, wurde die Bitte geäußert, sich noch einmal Gedanken zu machen. Nach dem wiederholten Hinweis, dass die Antworten nicht unbedingt vollständig richtig sein müssten und auch Vermutungen weiterhelfen würden, konnte das bei manchen Fragestellungen anfängliche Schweigen immer gebrochen werden. Alle Antworten wurden aus Motivationsgründen stets verbal oder/und nonverbal durch zustimmendes Nicken als richtig bzw. sinnvoll bezeichnet. Bei für den Interviewer nicht nachvollziehbaren Äußerungen wurde um eine wiederholte andersartige Darstellung gebeten. Bei konkreten Nachfragen benutzte der Interviewer, soweit möglich, den vom Schüler bis dahin angewandten Wortschatz. Widersprüche zu bereits geäußerten Vorstellungen wurden, nachdem der Schüler seinen Gedankengang beendet hatte, vom Interviewer mit der Bitte um Klärung aufgezeigt. Auf ein "permanentes Nachbohren" wurde aber zu Gunsten eines angenehmen Gesprächsklimas verzichtet. Signalisierte ein Proband in seiner Antwort Unsicherheit, so wurde nach weiteren Lösungsmöglichkeiten gefragt. Eine einseitige Bestätigung bzw. Hervorhebung der richtigen Antworten fand nicht statt.

Durch zusätzliche Fragen, die sich aus der jeweiligen Interviewsituation ergaben, wurde auf bestimmte Äußerungen der Schüler individuell eingegangen. Gingen die Probanden bereits auf Inhalte ein, die dem Interviewleitfaden zur Folge erst später thematisiert werden sollten, wurde die Abfolge der Fragen verändert (vgl. PINES et. al. 1978). Bedingt durch das als halbstandardisiert zu charakterisierende Interview sind nicht in jedem Interview alle Fragen in der angegebenen Formulierung angewandt worden.

Zusammenfassend kann der Stil der Kommunikation auf den Inhaltsaspekt bezogen als "neutral" - mit dem vorrangigen Ziel des Ermitteln - und auf den Beziehungsaspekt bezogen als wohlwollend

und akzeptierend charakterisiert werden. Neben den oben beschriebenen Faktoren sollte durch diese Gesprächsführung dem Untersuchungsgegenstand - nämlich individuellen persönlichen Vorstellungen - angemessen eine möglichst große Vertrauensbasis zwischen den Interviewpartnern geschaffen werden.

Die Interviews wurden mit Einverständnis der Schüler von einem kleinen, kaum sichtbaren Kassettenrecorder zur späteren Auswertung aufgezeichnet.

4.5.4.3 *Auswertung der Interviews*

Die Auswertung der 20 Interviews orientierte sich an den drei Phasen, die MAYRING (1990) zur qualitativen Inhaltsanalyse vorschlägt (vgl. Kap. 4.5.3.3, S. 153). In der ersten Phase (Zusammenfassende Inhaltsanalyse) wurden alle Interviews (insgesamt 16 Stunden) selektiv transkribiert. Dabei wurden nur diejenigen Äußerungen aufgenommen, die entweder konkret Aussagen zur Thematik "Energie im biologischen Kontext" enthielten oder aber Rückschlüsse auf Vorstellungen zur Thematik ermöglichten. Viele ausschmückende Textstellen und z.T. ausführliche Erzählungen von persönlichen Erlebnissen der Probanden blieben aufgrund dieser Auswahlkriterien unberücksichtigt. Da es das Ziel war, in der dritten Phase (Strukturierende Inhaltsanalyse) das in der Fragebogenstudie entwickelte Kategorienschema (91 Grundvorstellungen) zur Überprüfung seiner Vollständigkeit und Angemessenheit anzuwenden, wurde in dieser Phase der Inhaltsanalyse auf die Reduktion der Aussagen durch Kürzen und Zusammenfassen ähnlicher Paraphrasen verzichtet. Wörtliche Wiederholungen wurden jedoch nicht transkribiert. Wie auch bei der Fragebogenstudie ist auf die Wahl der Adjektive und Verben im Zusammenhang mit Aussagen zu Energie wie auch auf verwendete Beispiele und Analogien besonders geachtet worden. Entsprechende Aussagen der Schüler wurden deshalb zumeist wortwörtlich übernommen. Die von MAYRING vorgeschlagene Verallgemeinerung konkreter Beispiele (Generalisierung) fand aus diesem Grund nicht statt.

Da aus der Fragebogenstudie bereits ein Kategorienschema zur Ordnung der Schüleraussagen vorlag (91 Grundvorstellungen), wurde die zweite Phase der Inhaltsanalyse, bei der unklare Aussagen unter Zuhilfenahme anderer Textstellen eines Probanden geklärt werden sollten, im Zusammenhang mit der dritten Phase (Strukturierende Inhaltsanalyse) vorgenommen. In diesem kombinierten Arbeitsschritt wurde untersucht, ob sich alle Schüleraussagen den zuvor bei der Auswertung der Fragebogenstudie aufgestellten 91 Grundvorstellungen zuordnen lassen. Ziel bei der Auswertung der Interviewstudie war es dabei nicht, Belege (im Sinne wortwörtlicher Aussagen) für die Existenz *aller* 91 Grundvorstellungen zu finden und zu zählen. Deshalb wurde bei der Ergebnisdarstellung pro Proband lediglich angegeben, *welche* Grundvorstellungen in den Aussagen eines Probanden wiederzufinden waren. Eine quantitative Auswertung blieb aufgrund der geringen Probandenanzahl aus.

Nicht zuzuordnende Äußerungen aus den Interviews sollten zu einer Ergänzung der Liste der Grundvorstellungen führen.

4.5.5 Darstellung der im Fragebogen ermittelten Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext"

Die Darstellung der Ergebnisse ist nach den zwei übergreifenden Zielen dieser Studie gegliedert.

4.5.5.1 *Inhalte, Auftrittshäufigkeiten und Kontextflexibilität der Schülervorstellungen*

Das erste übergreifende Ziel der Studie lautete:

Ermittlung der Schülervorstellungen zum Themenbereich "Energie im biologischen Kontext" bei Gymnasiasten (und Gesamtschülern) der Sekundarstufe I und II in NRW, um sowohl Art und Inhalt der Vorstellungen (Qualitativer Aspekt) als auch die Auftrittshäufigkeit und Kontextflexibilität (Quantitativer Aspekt) zu dokumentieren.

In der folgenden Tabelle 4-20 sind die unter Anwendung des beschriebenen Auswertungsverfahrens ermittelten Inhalte der 91 Grundvorstellungen (Qualitativer Aspekt) hierarchisch geordnet nach der Häufigkeit ihrer Anwendung in den 20 Fragen (Wert zur Kontextflexibilität; abgekürzt mit Kf-Wert; 1. Sortierkriterium) und der prozentualen Häufigkeit ihres Auftretens in Bezug auf die Gesamtprobandenanzahl (2. Sortierkriterium) aufgeführt (Quantitativer Aspekt). Zusätzlich können die für die Faktorenanalyse wichtigen Auftrittshäufigkeiten der Grundvorstellungen in verschiedenen Probandengruppen abgelesen werden. Die Auswahl der Gruppen ergab sich anhand der Faktoren, die in der Formulierung des zweiten übergeordneten Zieles genannt sind (vgl. nächstes Kap. 4.5.5.2). Aus Gründen der Tabellenorganisation sind die Grundvorstellungen auch in diesen Spalten nach den obigen Sortierkriterien geordnet. Da bei der Formulierung der Grundvorstellungen noch nicht bekannt war, mit welcher Häufigkeit die einzelnen Grundvorstellungen in den Stichproben auftraten, entspricht die Nummerierung der Grundvorstellungen nicht der Reihenfolge ihrer Auftrittshäufigkeit.

Durch z.T. sehr speziell, z.T. sehr umfassend formulierte Grundvorstellungen ließen sich inhaltliche Überschneidungen zwischen verschiedenen Grundvorstellungen nicht vermeiden: Z.B. ist die GV 40 "Energie wird (durch Nahrungsaufnahme) zwischen Lebewesen weitergegeben" eine Spezifizierung der GV 13 "Energie kann und wird zwischen Lebewesen und ihrer Umgebung ausgetauscht.". Um derartige Überschneidungen kenntlich zu machen, sind bei eng formulierten Grundvorstellungen die übergeordneten Grundvorstellungen in eckigen Klammern angegeben. Ein gesetztes "?" hinter manchen GV-Nummern soll zeigen, dass diese Überschneidung nicht in jedem Fall zwingend ist.

Grundvorstellungen, deren Inhalte aus fachwissenschaftlicher Sicht nicht korrekt sind, besitzen eine fettgedruckte GV-Nummer.

In der Tabelle 4-20 (S. 165 - 168) ist bei den Prozentangaben trotz einer Probandenanzahl unter 1000 jeweils eine Stelle hinter dem Komma angegeben, um auch Unterschiede bei den weniger häufig aufgetretenen Grundvorstellungen ausweisen zu können.

| Kf-Wert | GV-Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | alle Probanden | | alle Jungen | | alle Mädchen | | alle Jg. 5 | | alle Jg. 8 | | alle Jg. 10 | | alle SH | | Nat-Intr. Ja | | Nat-Intr. Nein | | GY Stadt | | GY Land | | alle GY | | alle GE | | SH mit LK Bio | | SH ohne LK Bio | |
|---------|-----------|--|----------------|------|-------------|------|--------------|------|------------|------|------------|------|-------------|------|---------|------|--------------|------|----------------|------|----------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------------|------|----------------|------|
| | | | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % |
| | | Anzahl der Probanden | 784 | 100 | 385 | 100 | 399 | 100 | 168 | 100 | 168 | 100 | 168 | 100 | 280 | 100 | 538 | 100 | 246 | 100 | 275 | 100 | 285 | 100 | 560 | 100 | 224 | 100 | 128 | 100 | 152 | 100 |
| 19 | 91. | Energie kann hergestellt und verbraucht werden. | 510 | 65,1 | 243 | 63,1 | 267 | 66,9 | 61 | 36,3 | 103 | 61,3 | 128 | 76,2 | 218 | 77,9 | 359 | 66,7 | 151 | 61,4 | 205 | 74,5 | 190 | 66,7 | 395 | 70,5 | 115 | 51,3 | 100 | 78,1 | 118 | 77,6 |
| 18 | 10. | Energie kann umgewandelt werden (z.B. von einer Form in eine andere Form) - es gibt verschiedene Energieformen. | 292 | 37,2 | 160 | 41,6 | 132 | 33,1 | 21 | 12,5 | 56 | 33,3 | 75 | 44,6 | 140 | 50,0 | 221 | 41,1 | 71 | 28,9 | 122 | 44,4 | 106 | 37,2 | 228 | 40,7 | 64 | 28,6 | 77 | 60,2 | 63 | 41,4 |
| 17 | 13. | Energie wird zwischen Lebewesen und ihrer Umgebung ausgetauscht. | 705 | 89,9 | 343 | 89,1 | 362 | 90,7 | 128 | 76,2 | 154 | 91,7 | 151 | 89,9 | 272 | 97,1 | 486 | 90,3 | 219 | 89,0 | 260 | 94,5 | 267 | 93,7 | 527 | 94,1 | 178 | 79,5 | 126 | 98,4 | 146 | 96,1 |
| 14 | 15. | Energie kann in Lebewesen gespeichert werden. | 625 | 79,7 | 304 | 79,0 | 321 | 80,5 | 102 | 60,7 | 129 | 76,8 | 138 | 82,1 | 256 | 91,4 | 436 | 81,0 | 189 | 76,8 | 239 | 86,9 | 232 | 81,4 | 471 | 84,1 | 154 | 68,8 | 121 | 94,5 | 135 | 88,8 |
| 14 | 2. | In Stoffen/Nahrung/Nahrungsbestandteilen [ATP vergl. 22] ist Energie enthalten/gespeichert. | 611 | 77,9 | 297 | 77,1 | 314 | 78,7 | 113 | 67,3 | 122 | 72,6 | 134 | 79,8 | 242 | 86,4 | 424 | 78,8 | 187 | 76,0 | 227 | 82,5 | 231 | 81,1 | 458 | 81,8 | 153 | 68,3 | 113 | 88,3 | 129 | 84,9 |
| 14 | 5. | Energie ist etwas "Stoffliches". | 261 | 33,3 | 125 | 32,5 | 136 | 34,1 | 44 | 26,2 | 62 | 36,9 | 77 | 45,8 | 78 | 27,9 | 186 | 34,6 | 75 | 30,5 | 96 | 34,9 | 92 | 32,3 | 188 | 33,6 | 73 | 32,6 | 41 | 32,0 | 37 | 24,3 |
| 13 | 4. | Lebewesen benötigen zum Überleben/für Lebensvorgänge Energie. | 509 | 64,9 | 240 | 62,3 | 269 | 67,4 | 90 | 53,6 | 96 | 57,1 | 120 | 71,4 | 203 | 72,5 | 361 | 67,1 | 148 | 60,2 | 190 | 69,1 | 192 | 67,4 | 382 | 68,2 | 127 | 56,7 | 92 | 71,9 | 111 | 73,0 |
| 13 | 1. | Energie wird in Lebewesen/im Körper hergestellt (z.B. aus Nahrung). [91] | 223 | 28,4 | 103 | 26,8 | 120 | 30,1 | 15 | 8,9 | 42 | 25,0 | 50 | 29,8 | 116 | 41,4 | 163 | 30,3 | 60 | 24,4 | 94 | 34,2 | 87 | 30,5 | 181 | 32,3 | 42 | 18,8 | 55 | 43,0 | 61 | 40,1 |
| 12 | 6. | Energie wird verbrannt. | 76 | 9,7 | 35 | 9,1 | 41 | 10,3 | 6 | 3,6 | 23 | 13,7 | 26 | 15,5 | 21 | 7,5 | 55 | 10,2 | 21 | 8,5 | 28 | 10,2 | 35 | 12,3 | 63 | 11,3 | 13 | 5,8 | 6 | 4,7 | 15 | 9,9 |
| 11 | 3. | Energie wird für Lebensvorgänge verbraucht. [91] | 420 | 53,6 | 203 | 52,7 | 217 | 54,4 | 51 | 30,4 | 79 | 47,0 | 110 | 65,5 | 180 | 64,3 | 298 | 55,4 | 122 | 49,6 | 160 | 58,2 | 161 | 56,5 | 321 | 57,3 | 99 | 44,2 | 79 | 61,7 | 101 | 66,4 |
| 11 | 9. | Nahrung/Nahrungsbestandteile/Stoffe sind Energie. | 70 | 8,9 | 26 | 6,8 | 44 | 11,0 | 23 | 13,7 | 13 | 7,7 | 16 | 9,5 | 18 | 6,4 | 55 | 10,2 | 15 | 6,1 | 28 | 10,2 | 26 | 9,1 | 54 | 9,6 | 16 | 7,1 | 11 | 8,6 | 7 | 4,6 |
| 9 | 25. | Energie wird im/am Körper (durch Reaktionen/Abläufe) freigesetzt. | 59 | 7,5 | 29 | 7,5 | 30 | 7,5 | 1 | 0,6 | 18 | 10,7 | 5 | 3,0 | 35 | 12,5 | 49 | 9,1 | 10 | 4,1 | 24 | 8,7 | 27 | 9,5 | 51 | 9,1 | 8 | 3,6 | 19 | 14,8 | 16 | 10,5 |
| 9 | 22. | ATP ist eine energiereiche Verbindung - in ATP ist Energie gespeichert. [15] | 42 | 5,4 | 21 | 5,5 | 21 | 5,3 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 42 | 15,0 | 36 | 6,7 | 6 | 2,4 | 22 | 8,0 | 18 | 6,3 | 40 | 7,1 | 2 | 0,9 | 31 | 24,2 | 11 | 7,2 |
| 8 | 31. | Energie selbst bewirkt Reaktionen/produziert etwas (z.B. Prickeln auf der Haut, Wärme). | 182 | 23,2 | 85 | 22,1 | 97 | 24,3 | 14 | 8,3 | 35 | 20,8 | 46 | 27,4 | 87 | 31,1 | 140 | 26,0 | 42 | 17,1 | 72 | 26,2 | 66 | 23,2 | 138 | 24,6 | 44 | 19,6 | 45 | 35,2 | 42 | 27,6 |
| 8 | 30. | Energie kann direkt in "etwas" umgewandelt werden. [10] | 135 | 17,2 | 76 | 19,7 | 59 | 14,8 | 18 | 10,7 | 25 | 14,9 | 32 | 19,0 | 60 | 21,4 | 99 | 18,4 | 36 | 14,6 | 62 | 22,5 | 46 | 16,1 | 108 | 19,3 | 27 | 12,1 | 35 | 27,3 | 25 | 16,4 |
| 8 | 17. | Vitamine werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. [vergl. 14, 20] | 88 | 11,2 | 38 | 9,9 | 50 | 12,5 | 34 | 20,2 | 27 | 16,1 | 18 | 10,7 | 9 | 3,2 | 58 | 10,8 | 30 | 12,2 | 22 | 8,0 | 24 | 8,4 | 46 | 8,2 | 42 | 18,8 | 2 | 1,6 | 7 | 4,6 |
| 8 | 12. | Nahrungsbestandteile/aufgenommene Stoffe/Lichtstrahlen werden direkt in Energie/Energiespeicher (ATP) umgewandelt. [vergl. 79] | 81 | 10,3 | 39 | 10,1 | 42 | 10,5 | 8 | 4,8 | 7 | 4,2 | 15 | 8,9 | 51 | 18,2 | 64 | 11,9 | 17 | 6,9 | 38 | 13,8 | 31 | 10,9 | 69 | 12,3 | 12 | 5,4 | 29 | 22,7 | 22 | 14,5 |
| 7 | 43. | Durch Lebensvorgänge/Reaktionen/Stoffwechselvorgänge/Prozesse in Lebewesen entsteht Wärme, die abgegeben wird. [ohne Reibung, vergl. 55] | 488 | 62,2 | 238 | 61,8 | 250 | 62,7 | 54 | 32,1 | 115 | 68,5 | 114 | 67,9 | 205 | 73,2 | 354 | 65,8 | 134 | 54,5 | 188 | 68,4 | 185 | 64,9 | 373 | 66,6 | 115 | 51,3 | 103 | 80,5 | 102 | 67,1 |
| 7 | 7. | Energie ist ein eigener - quasi zusätzlicher - Bestandteil von Stoffen/Nahrung/Strahlung. [5?] | 67 | 8,5 | 34 | 8,8 | 33 | 8,3 | 8 | 4,8 | 16 | 9,5 | 20 | 11,9 | 23 | 8,2 | 48 | 8,9 | 19 | 7,7 | 21 | 7,6 | 30 | 10,5 | 51 | 9,1 | 16 | 7,1 | 13 | 10,2 | 10 | 6,6 |
| 7 | 33. | Energieumwandlung/Energieverbrauch/Energieherstellung erzeugt Wärme. [10?, vergl. 53] | 62 | 7,9 | 32 | 8,3 | 30 | 7,5 | 2 | 1,2 | 9 | 5,4 | 8 | 4,8 | 43 | 15,4 | 52 | 9,7 | 10 | 4,1 | 25 | 9,1 | 18 | 6,3 | 43 | 7,7 | 19 | 8,5 | 27 | 21,1 | 16 | 10,5 |
| 7 | 11. | Nicht jede Energieform kann von Lebewesen (gleich gut) genutzt werden (brauchbare - unbrauchbare Energie). [vergl. 80] | 29 | 3,7 | 17 | 4,4 | 12 | 3,0 | 2 | 1,2 | 4 | 2,4 | 7 | 4,2 | 16 | 5,7 | 23 | 4,3 | 6 | 2,4 | 12 | 4,4 | 8 | 2,8 | 20 | 3,6 | 9 | 4,0 | 10 | 7,8 | 6 | 3,9 |
| 7 | 26. | Energie geht nie verloren. | 24 | 3,1 | 16 | 4,2 | 8 | 2,0 | 0 | 0,0 | 4 | 2,4 | 6 | 3,6 | 14 | 5,0 | 19 | 3,5 | 5 | 2,0 | 7 | 2,5 | 11 | 3,9 | 18 | 3,2 | 6 | 2,7 | 7 | 5,5 | 7 | 4,6 |
| 7 | 16. | Energie wird mit den Adjektiven "gesund, unbehandelt, natürlich" und den Substantiven "Obst, Müsli" in Verbindung gebracht. | 14 | 1,8 | 5 | 1,3 | 9 | 2,3 | 7 | 4,2 | 3 | 1,8 | 2 | 1,2 | 2 | 0,7 | 7 | 1,3 | 7 | 2,8 | 6 | 2,2 | 3 | 1,1 | 9 | 1,6 | 5 | 2,2 | 1 | 0,8 | 1 | 0,7 |

| KF-Wert | GV-Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | alle Probanden | | alle Jungen | | alle Mädchen | | alle Jg. 5 | | alle Jg. 8 | | alle Jg. 10 | | alle SH | | Nat-Intr. Ja | | Nat-Intr. Nein | | GY Stadt | | GY Land | | alle GY | | alle GE | | SH mit LK Bio | | SH ohne LK Bio | |
|---------|-----------|---|----------------|------|-------------|------|--------------|------|------------|------|------------|------|-------------|------|---------|------|--------------|------|----------------|------|----------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------------|------|----------------|------|
| | | | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % |
| 6 | 19. | Energie ist in Stoffen/Dingen/Lebewesen[15]/Teilen von Lebewesen nicht im ganzen Objekt verteilt, sondern nur an bestimmten Stellen. [2?] | 210 | 26,8 | 101 | 26,2 | 109 | 27,3 | 61 | 36,3 | 54 | 32,1 | 41 | 24,4 | 54 | 19,3 | 151 | 28,1 | 59 | 24,0 | 71 | 25,8 | 69 | 24,2 | 140 | 25,0 | 70 | 31,3 | 21 | 16,4 | 33 | 21,7 |
| 6 | 42. | Lebewesen brauchen Wärme zum Leben. | 112 | 14,3 | 45 | 11,7 | 67 | 16,8 | 25 | 14,9 | 24 | 14,3 | 27 | 16,1 | 36 | 12,9 | 68 | 12,6 | 44 | 17,9 | 42 | 15,3 | 34 | 11,9 | 76 | 13,6 | 36 | 16,1 | 12 | 9,4 | 24 | 15,8 |
| 6 | 8. | Durch Verbrennung von Nahrung/Nahrungsbestandteilen/Mineralstoffen entsteht Energie. [1, 91] | 50 | 6,4 | 30 | 7,8 | 20 | 5,0 | 1 | 0,6 | 17 | 10,1 | 16 | 9,5 | 16 | 5,7 | 42 | 7,8 | 8 | 3,3 | 21 | 7,6 | 22 | 7,7 | 43 | 7,7 | 7 | 3,1 | 8 | 6,3 | 8 | 5,3 |
| 6 | 53. | Energieumwandlung ist unvollständig - Wärme wird frei. [10, 33] | 30 | 3,8 | 20 | 5,2 | 10 | 2,5 | 0 | 0,0 | 3 | 1,8 | 2 | 1,2 | 25 | 8,9 | 28 | 5,2 | 2 | 0,8 | 11 | 4,0 | 10 | 3,5 | 21 | 3,8 | 9 | 4,0 | 15 | 11,7 | 10 | 6,6 |
| 5 | 37. | Energie ist für den physischen/psychischen Zustand von Lebewesen zuständig; Energie ist "etwas", was man anregen, steigern, verlieren, trainieren kann (Energie als Ursache für Fitneß, Wohlbefinden, Unlust, Gesundheit) - Lebendiges hat Energie, Totes hat keine. | 175 | 22,3 | 64 | 16,6 | 111 | 27,8 | 45 | 26,8 | 48 | 28,6 | 28 | 16,7 | 54 | 19,3 | 112 | 20,8 | 63 | 25,6 | 59 | 21,5 | 60 | 21,1 | 119 | 21,3 | 56 | 25,0 | 22 | 17,2 | 32 | 21,1 |
| 5 | 35. | Durch "Verbrennung" in Lebewesen entsteht Wärme. | 149 | 19,0 | 87 | 22,6 | 62 | 15,5 | 8 | 4,8 | 40 | 23,8 | 49 | 29,2 | 52 | 18,6 | 110 | 20,4 | 39 | 15,9 | 56 | 20,4 | 73 | 25,6 | 129 | 23,0 | 20 | 8,9 | 20 | 15,6 | 32 | 21,1 |
| 5 | 34. | Wärme/Wärmeenergie beschleunigt/erleichtert Reaktionen (z.B. Stoffwechselreaktionen). | 68 | 8,7 | 38 | 9,9 | 30 | 7,5 | 4 | 2,4 | 18 | 10,7 | 13 | 7,7 | 33 | 11,8 | 49 | 9,1 | 19 | 7,7 | 24 | 8,7 | 27 | 9,5 | 51 | 9,1 | 17 | 7,6 | 18 | 14,1 | 15 | 9,9 |
| 5 | 45. | Wärme ist Energie. | 35 | 4,5 | 13 | 3,4 | 22 | 5,5 | 7 | 4,2 | 2 | 1,2 | 9 | 5,4 | 17 | 6,1 | 25 | 4,6 | 10 | 4,1 | 12 | 4,4 | 15 | 5,3 | 27 | 4,8 | 8 | 3,6 | 8 | 6,3 | 9 | 5,9 |
| 5 | 55. | Durch Reibung entsteht im Lebewesen Wärme. | 33 | 4,2 | 19 | 4,9 | 14 | 3,5 | 3 | 1,8 | 7 | 4,2 | 2 | 1,2 | 21 | 7,5 | 28 | 5,2 | 5 | 2,0 | 11 | 4,0 | 9 | 3,2 | 20 | 3,6 | 13 | 5,8 | 15 | 11,7 | 6 | 3,9 |
| 5 | 60. | Chemische Reaktionen/Vorgänge im Körper (Verdauung) benötigen zum Abfließen Energie. | 15 | 1,9 | 6 | 1,6 | 9 | 2,3 | 1 | 0,6 | 2 | 1,2 | 5 | 3,0 | 7 | 2,5 | 11 | 2,0 | 4 | 1,6 | 9 | 3,3 | 4 | 1,4 | 13 | 2,3 | 2 | 0,9 | 4 | 3,1 | 3 | 2,0 |
| 5 | 24. | Energie ist zwischen Atomen in Bindungen (chemisch) gespeichert. [15] | 10 | 1,3 | 6 | 1,6 | 4 | 1,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 10 | 3,6 | 8 | 1,5 | 2 | 0,8 | 2 | 0,7 | 3 | 1,1 | 5 | 0,9 | 5 | 2,2 | 4 | 3,1 | 6 | 3,9 |
| 5 | 23. | Energie kann zwischen Stoffen/Dingen übertragen werden. | 8 | 1,0 | 7 | 1,8 | 1 | 0,3 | 1 | 0,6 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 7 | 2,5 | 4 | 0,7 | 4 | 1,6 | 3 | 1,1 | 3 | 1,1 | 6 | 1,1 | 2 | 0,9 | 3 | 2,3 | 4 | 2,6 |
| 4 | 29. | Energie kann im Körper (von A nach B) transportiert werden. | 237 | 30,2 | 122 | 31,7 | 115 | 28,8 | 55 | 32,7 | 64 | 38,1 | 42 | 25,0 | 76 | 27,1 | 179 | 33,3 | 58 | 23,6 | 82 | 29,8 | 85 | 29,8 | 167 | 29,8 | 70 | 31,3 | 34 | 26,6 | 42 | 27,6 |
| 4 | 64. | Schnelle Vorgänge benötigen viel Energie und umgekehrt. | 193 | 24,6 | 94 | 24,4 | 99 | 24,8 | 15 | 8,9 | 42 | 25,0 | 51 | 30,4 | 85 | 30,4 | 139 | 25,8 | 54 | 22,0 | 69 | 25,1 | 74 | 26,0 | 143 | 25,5 | 50 | 22,3 | 40 | 31,3 | 45 | 29,6 |
| 4 | 75. | Durch Bewegung entsteht Wärme. | 191 | 24,4 | 79 | 20,5 | 112 | 28,1 | 46 | 27,4 | 56 | 33,3 | 49 | 29,2 | 40 | 14,3 | 125 | 23,2 | 66 | 26,8 | 50 | 18,2 | 61 | 21,4 | 111 | 19,8 | 80 | 35,7 | 16 | 12,5 | 24 | 15,8 |
| 4 | 48. | Lebewesen nehmen Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge in Form von Wärme auf. [13] | 94 | 12,0 | 42 | 10,9 | 52 | 13,0 | 7 | 4,2 | 14 | 8,3 | 21 | 12,5 | 52 | 18,6 | 65 | 12,1 | 29 | 11,8 | 43 | 15,6 | 35 | 12,3 | 78 | 13,9 | 16 | 7,1 | 28 | 21,9 | 24 | 15,8 |
| 4 | 54. | Luft/Sauerstoff/Stickstoff/Kohlendioxid sind Energieträger/übertragen Energie zwischen Pflanzen, Tieren und Menschen. [13] | 23 | 2,9 | 9 | 2,3 | 14 | 3,5 | 6 | 3,6 | 6 | 3,6 | 3 | 1,8 | 8 | 2,9 | 16 | 3,0 | 7 | 2,8 | 9 | 3,3 | 9 | 3,2 | 18 | 3,2 | 5 | 2,2 | 3 | 2,3 | 5 | 3,3 |
| 4 | 21. | Nahrungsbestandteile selbst sind für die Bildung von ATP (Energiespeicher) nötig. | 21 | 2,7 | 12 | 3,1 | 9 | 2,3 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 21 | 7,5 | 18 | 3,3 | 3 | 1,2 | 14 | 5,1 | 4 | 1,4 | 18 | 3,2 | 3 | 1,3 | 15 | 11,7 | 6 | 3,9 |
| 3 | 82. | Energie ist in Lebewesen dort/dort gespeichert, wo sie (zumeist) etwas "mit Sinnen Wahrnehmbares", etwas Offensichtliches vollbringen kann (hauptsächlich in bewegten u. bewegbaren Körperteilen: Gliedmaßen, deren Muskeln u. im Kopf) + Negation der Aussage. [15?, 19] | 118 | 15,1 | 53 | 13,8 | 65 | 16,3 | 35 | 20,8 | 27 | 16,1 | 32 | 19,0 | 24 | 8,6 | 90 | 16,7 | 28 | 11,4 | 43 | 15,6 | 39 | 13,7 | 82 | 14,6 | 36 | 16,1 | 9 | 7,0 | 15 | 9,9 |
| 3 | 90. | Wasser ist Energie(speicher) für Lebewesen. [2, 9?, 15?] | 101 | 12,9 | 41 | 10,6 | 60 | 15,0 | 30 | 17,9 | 29 | 17,3 | 22 | 13,1 | 20 | 7,1 | 69 | 12,8 | 32 | 13,0 | 29 | 10,5 | 37 | 13,0 | 66 | 11,8 | 35 | 15,6 | 5 | 3,9 | 15 | 9,9 |
| 3 | 28. | In Dingen/Nahrungsbestandteilen/Körperteilen steckt überall Energie. [15?] | 31 | 4,0 | 13 | 3,4 | 18 | 4,5 | 2 | 1,2 | 5 | 3,0 | 10 | 6,0 | 14 | 5,0 | 23 | 4,3 | 8 | 3,3 | 12 | 4,4 | 10 | 3,5 | 22 | 3,9 | 9 | 4,0 | 8 | 6,3 | 6 | 3,9 |

| KF-Wert | GV-Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | alle Probanden | | alle Jungen | | alle Mädchen | | alle Jg. 5 | | alle Jg. 8 | | alle Jg. 10 | | alle SH | | Nat-Intr. Ja | | Nat-Intr. Nein | | GY Stadt | | GY Land | | alle GY | | alle GE | | SH mit LK Bio | | SH ohne LK Bio | |
|---------|-----------|--|----------------|------|-------------|------|--------------|------|------------|------|------------|------|-------------|------|---------|------|--------------|------|----------------|------|----------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------------|------|----------------|------|
| | | | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % |
| 3 | 40. | Energie wird (durch Nahrungsaufnahme) zwischen Lebewesen weitergegeben. [13] | 17 | 2,2 | 8 | 2,1 | 9 | 2,3 | 1 | 0,6 | 4 | 2,4 | 1 | 0,6 | 11 | 3,9 | 13 | 2,4 | 4 | 1,6 | 5 | 1,8 | 7 | 2,5 | 12 | 2,1 | 5 | 2,2 | 5 | 3,9 | 6 | 3,9 |
| 3 | 65. | Lebewesen (allgemein) nehmen Energie direkt von der Sonne auf. [13, vergl. 36, 41] | 10 | 1,3 | 2 | 0,5 | 8 | 2,0 | 0 | 0,0 | 1 | 0,6 | 8 | 4,8 | 1 | 0,4 | 6 | 1,1 | 4 | 1,6 | 2 | 0,7 | 2 | 0,7 | 4 | 0,7 | 6 | 2,7 | 0 | 0,0 | 1 | 0,7 |
| 2 | 52. | Pflanzen nehmen Energie durch Wurzeln/aus dem Boden auf. [13, vergl. 73] | 182 | 23,2 | 100 | 26,0 | 82 | 20,6 | 44 | 26,2 | 42 | 25,0 | 49 | 29,2 | 47 | 16,8 | 134 | 24,9 | 48 | 19,5 | 64 | 23,3 | 68 | 23,9 | 132 | 23,6 | 50 | 22,3 | 20 | 15,6 | 27 | 17,8 |
| 2 | 41. | Pflanzen bekommen zum Wachstum Energie von der Sonne/Sonnenlicht. [13, 36?, 65?] | 169 | 21,6 | 82 | 21,3 | 87 | 21,8 | 18 | 10,7 | 64 | 38,1 | 31 | 18,5 | 56 | 20,0 | 108 | 20,1 | 61 | 24,8 | 55 | 20,0 | 62 | 21,8 | 117 | 20,9 | 52 | 23,2 | 25 | 19,5 | 31 | 20,4 |
| 2 | 44. | Sonne ist Wärmespende (spendet Energie nicht in Form von Licht oder kurzweiliger Strahlung), Sonne spendet Energie nur in Form von Wärme. [13] | 83 | 10,6 | 36 | 9,4 | 47 | 11,8 | 20 | 11,9 | 17 | 10,1 | 23 | 13,7 | 23 | 8,2 | 55 | 10,2 | 28 | 11,4 | 31 | 11,3 | 24 | 8,4 | 55 | 9,8 | 28 | 12,5 | 5 | 3,9 | 18 | 11,8 |
| 2 | 38. | Sonne ist Energiespende für das Leben auf der Erde. | 44 | 5,6 | 27 | 7,0 | 17 | 4,3 | 7 | 4,2 | 11 | 6,5 | 9 | 5,4 | 17 | 6,1 | 27 | 5,0 | 17 | 6,9 | 14 | 5,1 | 20 | 7,0 | 34 | 6,1 | 10 | 4,5 | 6 | 4,7 | 11 | 7,2 |
| 2 | 57. | Bewegung/Muskelbewegung braucht (viel) Energie (- Abläufe beim Denken brauchen jedoch wenig Energie.) [4] | 29 | 3,7 | 12 | 3,1 | 17 | 4,3 | 6 | 3,6 | 8 | 4,8 | 5 | 3,0 | 10 | 3,6 | 21 | 3,9 | 8 | 3,3 | 8 | 2,9 | 8 | 2,8 | 16 | 2,9 | 13 | 5,8 | 5 | 3,9 | 5 | 3,3 |
| 2 | 49. | Energie (fließt nicht, sondern) kreist auf der Erde. | 26 | 3,3 | 11 | 2,9 | 15 | 3,8 | 0 | 0,0 | 9 | 5,4 | 6 | 3,6 | 11 | 3,9 | 19 | 3,5 | 7 | 2,8 | 8 | 2,9 | 14 | 4,9 | 22 | 3,9 | 4 | 1,8 | 5 | 3,9 | 6 | 3,9 |
| 2 | 46. | Pflanzen nehmen (für ihre Lebensvorgänge) Energie in Form von Wärme auf. [13] | 21 | 2,7 | 12 | 3,1 | 9 | 2,3 | 5 | 3,0 | 3 | 1,8 | 2 | 1,2 | 11 | 3,9 | 16 | 3,0 | 5 | 2,0 | 8 | 2,9 | 7 | 2,5 | 15 | 2,7 | 6 | 2,7 | 3 | 2,3 | 8 | 5,3 |
| 2 | 14. | Vitamine sind Energielieferanten für den Menschen. | 18 | 2,3 | 7 | 1,8 | 11 | 2,8 | 10 | 6,0 | 6 | 3,6 | 1 | 0,6 | 1 | 0,4 | 10 | 1,9 | 8 | 3,3 | 6 | 2,2 | 6 | 2,1 | 12 | 2,1 | 6 | 2,7 | 1 | 0,8 | 0 | 0,0 |
| 2 | 18. | Mineralstoffe/Spurenelemente werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. | 18 | 2,3 | 10 | 2,6 | 8 | 2,0 | 5 | 3,0 | 6 | 3,6 | 3 | 1,8 | 4 | 1,4 | 9 | 1,7 | 9 | 3,7 | 5 | 1,8 | 7 | 2,5 | 12 | 2,1 | 6 | 2,7 | 1 | 0,8 | 3 | 2,0 |
| 2 | 83. | Der Magen-Darm-Bereich ist Umwandlungsstelle/Umleitungsstelle für Energie. [10?] | 15 | 1,9 | 8 | 2,1 | 7 | 1,8 | 10 | 6,0 | 2 | 1,2 | 0 | 0,0 | 3 | 1,1 | 12 | 2,2 | 3 | 1,2 | 8 | 2,9 | 4 | 1,4 | 12 | 2,1 | 3 | 1,3 | 2 | 1,6 | 1 | 0,7 |
| 2 | 50. | Licht ist Energie. | 13 | 1,7 | 3 | 0,8 | 10 | 2,5 | 1 | 0,6 | 4 | 2,4 | 5 | 3,0 | 3 | 1,1 | 11 | 2,0 | 2 | 0,8 | 6 | 2,2 | 6 | 2,1 | 12 | 2,1 | 1 | 0,4 | 1 | 0,8 | 2 | 1,3 |
| 2 | 39. | Energie ist nicht mit Sinnen fassbar. | 12 | 1,5 | 4 | 1,0 | 8 | 2,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 4 | 2,4 | 8 | 2,9 | 8 | 1,5 | 4 | 1,6 | 4 | 1,5 | 6 | 2,1 | 10 | 1,8 | 2 | 0,9 | 3 | 2,3 | 5 | 3,3 |
| 2 | 56. | Der Mensch braucht für geistige Tätigkeit keine Energie - bei Ruhe/bei Bewegungslosigkeit wird keine Energie benötigt. | 12 | 1,5 | 10 | 2,6 | 2 | 0,5 | 3 | 1,8 | 2 | 1,2 | 2 | 1,2 | 5 | 1,8 | 7 | 1,3 | 5 | 2,0 | 3 | 1,1 | 5 | 1,8 | 8 | 1,4 | 4 | 1,8 | 1 | 0,8 | 4 | 2,6 |
| 2 | 20. | Vitamine selbst sind Energie. [9] | 11 | 1,4 | 2 | 0,5 | 9 | 2,3 | 5 | 3,0 | 1 | 0,6 | 3 | 1,8 | 2 | 0,7 | 8 | 1,5 | 3 | 1,2 | 6 | 2,2 | 2 | 0,7 | 8 | 1,4 | 3 | 1,3 | 1 | 0,8 | 1 | 0,7 |
| 2 | 47. | Alle Energie endet in/wird zu Wärme. | 11 | 1,4 | 6 | 1,6 | 5 | 1,3 | 0 | 0,0 | 4 | 2,4 | 1 | 0,6 | 6 | 2,1 | 9 | 1,7 | 2 | 0,8 | 5 | 1,8 | 3 | 1,1 | 8 | 1,4 | 3 | 1,3 | 3 | 2,3 | 3 | 2,0 |
| 2 | 77. | Wärme stammt aus Energie. [30] | 9 | 1,1 | 1 | 0,3 | 8 | 2,0 | 0 | 0,0 | 4 | 2,4 | 0 | 0,0 | 5 | 1,8 | 8 | 1,5 | 1 | 0,4 | 4 | 1,5 | 4 | 1,4 | 8 | 1,4 | 1 | 0,4 | 4 | 3,1 | 1 | 0,7 |
| 2 | 84. | Sonnenstrahlen können in Energie umgewandelt werden. [10] | 8 | 1,0 | 2 | 0,5 | 6 | 1,5 | 1 | 0,6 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 7 | 2,5 | 5 | 0,9 | 3 | 1,2 | 3 | 1,1 | 4 | 1,4 | 7 | 1,3 | 1 | 0,4 | 3 | 2,3 | 4 | 2,6 |
| 2 | 32. | Solange Nahrung im Körper ist, hat ein Lebewesen Energie. | 7 | 0,9 | 3 | 0,8 | 4 | 1,0 | 0 | 0,0 | 4 | 2,4 | 1 | 0,6 | 2 | 0,7 | 5 | 0,9 | 2 | 0,8 | 3 | 1,1 | 2 | 0,7 | 5 | 0,9 | 2 | 0,9 | 1 | 0,8 | 1 | 0,7 |
| 2 | 63. | Hitze verlangsamt Stoffwechselfvorgänge. | 5 | 0,6 | 4 | 1,0 | 1 | 0,3 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 3 | 1,8 | 2 | 0,7 | 3 | 0,6 | 2 | 0,8 | 2 | 0,7 | 2 | 0,7 | 4 | 0,7 | 1 | 0,4 | 0 | 0,0 | 2 | 1,3 |
| 2 | 79. | Bestimmte Vorgänge/Prozesse (z.B. Photosynthese) in Lebewesen erzeugen Energie. [1, 91] | 5 | 0,6 | 3 | 0,8 | 2 | 0,5 | 0 | 0,0 | 2 | 1,2 | 0 | 0,0 | 3 | 1,1 | 4 | 0,7 | 1 | 0,4 | 2 | 0,7 | 3 | 1,1 | 5 | 0,9 | 0 | 0,0 | 1 | 0,8 | 2 | 1,3 |
| 2 | 73. | Im Boden/in Erde ist Energie. | 2 | 0,3 | 0 | 0,0 | 2 | 0,5 | 2 | 1,2 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 1 | 0,4 | 1 | 0,4 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 |
| 1 | 61. | Kleine Lebewesen enthalten weniger Energie als größere Lebewesen. [15] | 279 | 35,6 | 133 | 34,5 | 146 | 36,6 | 43 | 25,6 | 54 | 32,1 | 60 | 35,7 | 122 | 43,6 | 191 | 35,5 | 88 | 35,8 | 110 | 40,0 | 105 | 36,8 | 215 | 38,4 | 64 | 28,6 | 55 | 43,0 | 67 | 44,1 |

| KF-Wert | GV-Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | alle Probanden | | alle Jungen | | alle Mädchen | | alle Jg. 5 | | alle Jg. 8 | | alle Jg. 10 | | alle SH | | Nat-Intr. Ja | | Nat-Intr. Nein | | GY Stadt | | GY Land | | alle GY | | alle GE | | SH mit LK Bio | | SH ohne LK Bio | |
|---------|-----------|---|----------------|------|-------------|------|--------------|------|------------|------|------------|------|-------------|------|---------|------|--------------|------|----------------|------|----------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------------|------|----------------|------|
| | | | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % | in % |
| 1 | 89. | Pflanzen nehmen Energie durch Wasser auf. [13, 90] | 96 | 12,2 | 38 | 9,9 | 58 | 14,5 | 29 | 17,3 | 28 | 16,7 | 22 | 13,1 | 17 | 6,1 | 65 | 12,1 | 31 | 12,6 | 26 | 9,5 | 36 | 12,6 | 62 | 11,1 | 34 | 15,2 | 3 | 2,3 | 14 | 9,2 |
| 1 | 85. | Tierische Lebewesen bekommen Energie für Lebensvorgänge durch Licht. [13, vergl. 36, 65] | 30 | 3,8 | 13 | 3,4 | 17 | 4,3 | 1 | 0,6 | 6 | 3,6 | 4 | 2,4 | 19 | 6,8 | 24 | 4,5 | 6 | 2,4 | 12 | 4,4 | 14 | 4,9 | 26 | 4,6 | 4 | 1,8 | 9 | 7,0 | 10 | 6,6 |
| 1 | 68. | Bei Verwesung/Fäulnis entsteht Energie. [91] | 21 | 2,7 | 8 | 2,1 | 13 | 3,3 | 0 | 0,0 | 8 | 4,8 | 7 | 4,2 | 6 | 2,1 | 14 | 2,6 | 7 | 2,8 | 11 | 4,0 | 5 | 1,8 | 16 | 2,9 | 5 | 2,2 | 4 | 3,1 | 2 | 1,3 |
| 1 | 36. | Tiere nehmen Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge (z.B. Bewegung) direkt von der Sonne auf. [13, 65] | 19 | 2,4 | 10 | 2,6 | 9 | 2,3 | 1 | 0,6 | 7 | 4,2 | 7 | 4,2 | 4 | 1,4 | 12 | 2,2 | 7 | 2,8 | 8 | 2,9 | 7 | 2,5 | 15 | 2,7 | 4 | 1,8 | 1 | 0,8 | 3 | 2,0 |
| 1 | 66. | Lebewesen gehen mit Energie sparsam um - müssen mit Energie sparsam umgehen. | 12 | 1,5 | 6 | 1,6 | 6 | 1,5 | 1 | 0,6 | 2 | 1,2 | 2 | 1,2 | 7 | 2,5 | 10 | 1,9 | 2 | 0,8 | 7 | 2,5 | 3 | 1,1 | 10 | 1,8 | 2 | 0,9 | 4 | 3,1 | 3 | 2,0 |
| 1 | 69. | Man braucht Wärme zum Verwesen. | 12 | 1,5 | 6 | 1,6 | 6 | 1,5 | 2 | 1,2 | 4 | 2,4 | 4 | 2,4 | 2 | 0,7 | 5 | 0,9 | 7 | 2,8 | 3 | 1,1 | 7 | 2,5 | 10 | 1,8 | 2 | 0,9 | 1 | 0,8 | 1 | 0,7 |
| 1 | 70. | Ist keine Energie und Wärme vorhanden, tritt Verwesung ein. | 7 | 0,9 | 3 | 0,8 | 4 | 1,0 | 1 | 0,6 | 3 | 1,8 | 2 | 1,2 | 1 | 0,4 | 3 | 0,6 | 4 | 1,6 | 3 | 1,1 | 2 | 0,7 | 5 | 0,9 | 2 | 0,9 | 0 | 0,0 | 1 | 0,7 |
| 1 | 58. | Bestimmte Stellen/Prozesse in Lebewesen benötigen viel Energie. [4, vergl. 60] | 4 | 0,5 | 1 | 0,3 | 3 | 0,8 | 0 | 0,0 | 2 | 1,2 | 2 | 1,2 | 0 | 0,0 | 3 | 0,6 | 1 | 0,4 | 3 | 1,1 | 1 | 0,4 | 4 | 0,7 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 |
| 1 | 76. | In bestimmten Lebewesen (z.B. Quallen) ist keine Energie. | 4 | 0,5 | 3 | 0,8 | 1 | 0,3 | 0 | 0,0 | 1 | 0,6 | 1 | 0,6 | 2 | 0,7 | 4 | 0,7 | 0 | 0,0 | 2 | 0,7 | 1 | 0,4 | 3 | 0,5 | 1 | 0,4 | 1 | 0,8 | 1 | 0,7 |
| 1 | 87. | Pflanzen stellen Energie selber her. [1, 91] | 4 | 0,5 | 3 | 0,8 | 1 | 0,3 | 0 | 0,0 | 2 | 1,2 | 0 | 0,0 | 2 | 0,7 | 2 | 0,4 | 2 | 0,8 | 2 | 0,7 | 1 | 0,4 | 3 | 0,5 | 1 | 0,4 | 1 | 0,8 | 1 | 0,7 |
| 1 | 71. | Bei Verwesung geht Energie in die Erde. | 3 | 0,4 | 2 | 0,5 | 1 | 0,3 | 0 | 0,0 | 2 | 1,2 | 1 | 0,6 | 0 | 0,0 | 3 | 0,6 | 0 | 0,0 | 1 | 0,4 | 2 | 0,7 | 3 | 0,5 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 |
| 1 | 81. | Energie wird zu Kraft. [10?] | 3 | 0,4 | 2 | 0,5 | 1 | 0,3 | 0 | 0,0 | 1 | 0,6 | 2 | 1,2 | 0 | 0,0 | 1 | 0,2 | 2 | 0,8 | 1 | 0,4 | 0 | 0,0 | 1 | 0,2 | 2 | 0,9 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 |
| 1 | 27. | Energie steckt in bestimmten Strukturen (Faltblattstruktur, Ringstruktur) der Materie. [15?] | 2 | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 | 0,3 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 2 | 0,7 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 2 | 0,9 | 1 | 0,8 | 1 | 0,7 |
| 1 | 51. | Tote Lebewesen geben (bei Verwesung) ihre Wärme ab. [13] | 2 | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 | 0,3 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 1 | 0,6 | 1 | 0,4 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 1 | 0,4 | 1 | 0,4 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 1 | 0,7 |
| 1 | 72. | Zum Schaffen und Erhalten von Ordnung braucht man Energie. | 2 | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 | 0,6 | 0 | 0,0 | 1 | 0,6 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 2 | 0,8 | 1 | 0,4 | 0 | 0,0 | 1 | 0,2 | 1 | 0,4 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 |
| 1 | 78. | Bei Aufspaltung von Nahrung entsteht Wärme. | 2 | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 | 0,3 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 2 | 0,7 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 1 | 0,4 | 1 | 0,4 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 1 | 0,8 | 1 | 0,7 |
| 1 | 80. | Es gibt verschieden gute Energiespeicher. [15?] | 2 | 0,3 | 0 | 0,0 | 2 | 0,5 | 1 | 0,6 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 1 | 0,4 | 0 | 0,0 | 2 | 0,8 | 0 | 0,0 | 2 | 0,7 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 1 | 0,7 |
| 1 | 86. | In Pflanzen ist keine Energie. | 2 | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 | 0,6 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 1 | 0,4 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 1 | 0,4 | 1 | 0,4 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 1 | 0,7 |
| 1 | 88. | Pflanzen sind Energie. | 2 | 0,3 | 2 | 0,5 | 0 | 0,0 | 1 | 0,6 | 1 | 0,6 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 1 | 0,4 | 1 | 0,4 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 |
| 1 | 59. | Denken ist Energie. | 2 | 0,3 | 0 | 0,0 | 2 | 0,6 | 2 | 0,6 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 2 | 0,4 | 2 | 0,8 | 0 | 0,0 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 |
| 1 | 62. | Große Lebewesen brauchen zum Leben mehr Energie als kleine Lebewesen. [4] | 2 | 0,3 | 2 | 0,5 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 2 | 1,2 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 2 | 0,8 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 |
| 1 | 67. | Kleine Tiere verlieren mehr Energie an die Umgebung als große Tiere. [13] | 2 | 0,3 | 2 | 0,5 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 2 | 0,8 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 2 | 0,8 | 0 | 0,0 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 2 | 1,4 |
| 1 | 74. | Mineralstoffe sind Energie. [9] | 2 | 0,3 | 2 | 0,5 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 2 | 1,2 | 0 | 0,0 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 2 | 0,8 | 0 | 0,0 | 2 | 0,4 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 |

4.5.5.2 *Abhängigkeit der Schülervorstellungen von unterrichtsrelevanten Faktoren*

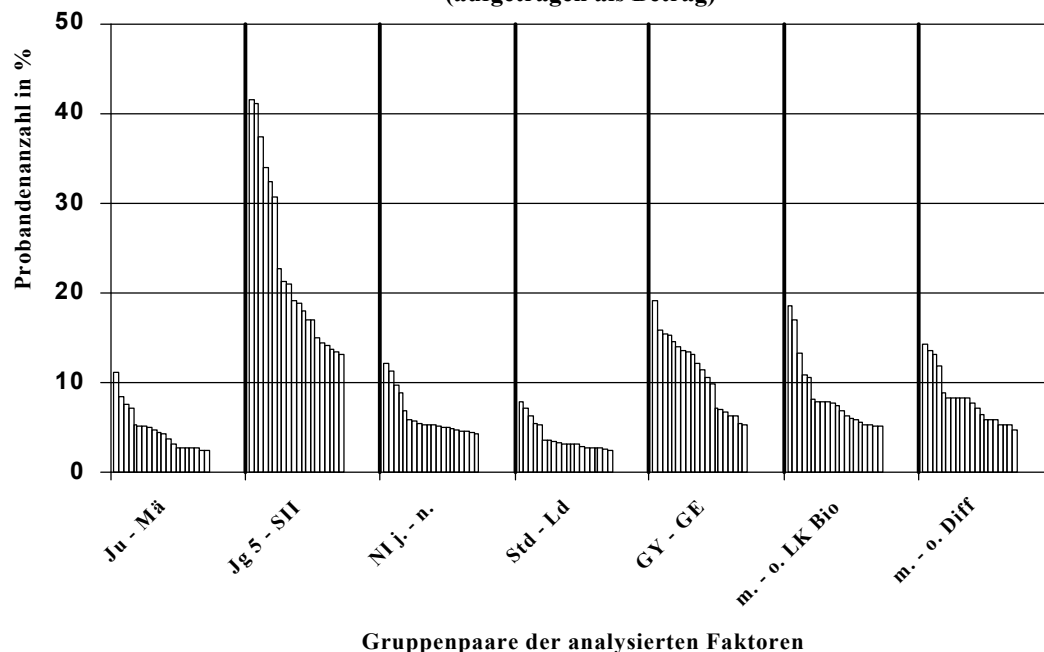
Das zweite übergreifende Ziel der Hauptuntersuchung lautete:

Analyse des Einflusses der Faktoren Jahrgangstufe, Geschlecht, naturwissenschaftliches Interesse, Quantität des naturwissenschaftlichen Unterrichts sowie Wohn-/Lernumgebung auf Inhalt, Auftrittshäufigkeit und Kontextflexibilität der Schülervorstellungen.

Im Folgenden werden die diesbezüglichen Ergebnisse dargestellt:

Zur Untersuchung der ausgewählten Faktoren wurden zunächst die entsprechenden zwei Probandengruppen aus dem Stammdatensatz ausgewählt (z.B. für den Faktor "Geschlecht" die Jungen- und Mädchengruppe). Anschließend wurden - bezogen auf die jeweilige Probandenanzahl - die relativen Auftrittshäufigkeiten der 91 GV für diese zwei Gruppen ermittelt. Im nächsten Schritt wurde die Differenz zwischen den Auftrittshäufigkeiten pro Grundvorstellung errechnet. Damit konnte bestimmt werden, welche Grundvorstellung bei welcher der beiden Gruppen um welchen Prozentsatz häufiger aufgetreten ist. Um einen Überblick über die Relevanz der einzelnen Faktoren zu erlangen, sind in der nachfolgenden Abbildung 4-5 die Beträge der 20 höchsten Differenzen in Form von Balken dargestellt.

Differenz der prozentualen Auftrittshäufigkeit von Grundvorstellungen für Gruppenpaare (aufgetragen als Betrag)



Legende

| | |
|---------------|---|
| Ju - Mä | Jungen und Mädchen |
| Jg 5 - 11 | Schüler der Jahrgang 5 und der Jahrgang 11 |
| NI j. - n. | Schüler mit und ohne naturwissenschaftlichem Interesse |
| Std - Ld | Schüler aus Schulen mit städtischer und ländlicher Umgebung |
| GY - GE | Gymnasiasten und Gesamtschüler |
| m.- o. LK Bio | Schüler mit und ohne Wahl des Leistungskurses Biologie |
| m. - o. Diff | Schüler mit und ohne naturwissenschaftlichem Differenzierungsunterricht in der Sek. I |

Abb. 4-5: Einfluss ausgewählter Faktoren auf die Auftrittshäufigkeit von GV

Die Erläuterungen zur Abbildung 4-5 sind nach der Tabelle 4-21 abgedruckt.

Tab. 4-21: Auftrittshäufigkeit der Grundvorstellungen: Faktor Jahrgangstufe
Vergleich zwischen Schülern der 5. und 11./12. Jahrgangstufe
 GV, bei denen der Unterschied in der Auftrittshäufigkeit > 5% ist.

| Nr. d. GV | Inhalt der Grundvorstellung | 5 - 11/12 in % * |
|--------------|--|---------------------|
| 17. | Vitamine werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. | 17,0 |
| 19. | Energie ist in Stoffen/Dingen/Lebewesen/Teilen von Lebewesen nicht im ganzen Objekt verteilt, sondern nur an bestimmten Stellen. | 17,0 |
| 75. | Durch Bewegung entsteht Wärme. | 13,1 |
| 82. | Energie ist in Lebewesen dort/dort gespeichert, wo sie etwas "mit Sinnen Wahrnehmbares", etwas Offensichtliches vollbringen kann (hauptsächlich in beweglichen Körperteilen: Gliedmaßen, deren Muskeln und im Kopf (Rechenaufgaben)). | 12,3 |
| 89. | Pflanzen nehmen Energie durch Wasser auf. | 11,2 |
| 90. | Wasser ist Energie(speicher) für Lebewesen. | 10,7 |
| 52. | Pflanzen nehmen Energie durch den Boden auf. | 9,4 |
| 37. | Energie ist für den physischen/psychischen Zustand von Lebewesen zuständig - lebendige Lebewesen haben Energie, tote haben keine Energie. | 7,5 |
| 9. | Nahrung/Nahrungsbestandteile/Stoffe sind Energie. | 7,3 |
| 26. | Energie geht nie verloren. | -5,0 |
| 8. | Durch Verbrennung von Nahrung/Nahrungsbestandteilen/Mineralstoffen entsteht Energie. | -5,1 |
| 55. | Durch Reibung entsteht im Lebewesen Wärme. | -5,7 |
| 85. | Tierische Lebewesen bekommen Energie für Lebensvorgänge durch Licht. | -6,2 |
| 21. | Nahrungsbestandteile selbst sind für die Bildung von ATP (Energiespeicher) nötig. | -7,5 |
| 53. | Energieumwandlung ist unvollständig - Wärme wird frei. | -8,9 |
| 41. | Pflanzen bekommen zum Wachstum Energie von der Sonne. | -9,3 |
| 34. | Wärme/Wärmeenergie beschleunigt/erleichtert Reaktionen (z.B. Stoffwechselreaktionen). | -9,4 |
| 30. | Energie kann direkt in "etwas" umgewandelt werden. | -10,7 |
| 25. | Energie wird im/am Körper (durch Reaktionen) freigesetzt. | -11,9 |
| 12. | Nahrungsbestandteile/aufgenommene Stoffe werden direkt in Energie/Energiespeicher (ATP) umgewandelt. | -13,5 |
| 35. | Durch "Verbrennung" in Lebewesen entsteht Wärme. | -13,8 |
| 33. | Energieumwandlung erzeugt Wärme. | -14,2 |
| 48. | Lebewesen nehmen Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge in Form v. Wärme auf. | -14,4 |
| 22. | ATP ist eine energiereiche Verbindung - in ATP ist Energie gespeichert. | -15,0 |
| 61. | Kleine Lebewesen enthalten weniger Energie als größere Lebewesen. | -18,0 |
| 4. | Lebewesen benötigen zum Überleben/für Lebensvorgänge Energie. | -18,9 |
| 2. | In Stoffen/Nahrung/Nahrungsbestandteilen ist Energie enthalten, gespeichert. | -19,2 |
| 13. | Energie kann und wird zwischen Lebewesen und ihrer Umgebung ausgetauscht. | -21,0 |
| 64. | Schnelle Vorgänge benötigen viel Energie und umgekehrt. | -21,4 |
| 31. | Energie selbst bewirkt Reaktionen/produziert etwas (z.B. Prickeln auf der Haut, Wärme). | -22,7 |
| 15. | Energie kann in Lebewesen gespeichert werden. | -30,7 |
| 1. | Energie wird in Lebewesen/im Körper hergestellt (z.B. aus Nahrung). | -32,5 |
| 3. | Energie wird für Lebensvorgänge verbraucht. | -33,9 |
| 10. | Energie kann umgewandelt werden (z.B. von einer Form in eine andere Form) - es gibt verschiedene Energieformen. | -37,5 |
| 43. | Durch Lebensvorgänge/Reaktionen/Stoffwechselvorgänge/Prozesse in Lebewesen entsteht Wärme, die abgegeben wird [ohne Reibung]. | -41,1 |
| 91. | Energie kann hergestellt und verbraucht werden. | -41,5 |

* Erläuterung: Die Auftrittshäufigkeiten der GV von Schülern der Jahrgänge 11 und 12 (SII) wurden von den Auftrittshäufigkeiten der GV von Schülern der 5. Jahrgänge subtrahiert, d.h.: GV mit positiven Werten werden häufiger von Schülern des 5. Jahrganges, GV mit negativen Werten werden häufiger von Schülern der SII angewandt.

Erläuterung zu Abbildung 4-5:

Je höher ein Balken, desto stärker ist der Einfluss des jeweiligen Faktors auf die Auftrittshäufigkeit der Grundvorstellung. Balken nahe der Null-Linie bedeuten einen geringen Einfluss des analysierten Faktors auf die Auftrittshäufigkeit der ermittelten Grundvorstellungen, höhere Balken deuten dagegen auf einen deutlichen Einfluss des analysierten Faktors hin.

Diese Abbildung 4-5 zeigt deutlich, dass - anders, als aufgrund der Ergebnisse der Voruntersuchung zu vermuten war - *keiner der analysierten Faktoren einen wesentlichen Einfluss auf die Auftrittshäufigkeit unterschiedlicher Schülervorstellungen zum Themenbereich "Energie im biologischen Kontext" hat*. Allein der Faktor "Jahrgangstufe" weist bei 10 Grundvorstellungen eine Differenz größer als 20% auf. Besonders gering sind die Differenzen bei den Faktoren Schulumgebung, Geschlecht, naturwissenschaftliches Interesse und Art des Differenzierungsunterrichtes in der Sekundarstufe I (mathematisch-naturwissenschaftlicher oder sprachlich-geisteswissenschaftlicher Schwerpunkt; Schüler, die nicht den mathematisch-naturwissenschaftlichen Schwerpunkt gewählt hatten, besuchten in den ausgewählten Schulen den sprachlichen oder geisteswissenschaftlichen Schwerpunkt. Die errechnete Differenz ist mit "m. - o. Diff " abgekürzt.).

In den folgenden drei Tabellen sind exemplarisch die Unterschiede der Auftrittshäufigkeiten für die Grundvorstellungen zu den zwei Faktoren "Jahrgangstufe" (Faktor mit stärkstem Einfluss, Tabelle 4-21 und 4-22) und "Quantität des Biologieunterrichts" in der Oberstufe (Faktor, der Rückschlüsse auf den aktuellen Biologieunterricht zulässt, Tabelle 4-23) aufgeschlüsselt.

Erläuterungen zur Tabelle 4-21:

Auffallend ist, dass zwar ein Teil der aus fachwissenschaftlicher Sicht falschen Vorstellungen (Fehlvorstellungen) in der Sekundarstufe II abnimmt (fett hervorgehobene Grundvorstellungen im oberen Tabellenteil), gleichzeitig aber andere Fehlvorstellungen an Auftrittshäufigkeit zunehmen (fett hervorgehobene Grundvorstellungen im unteren Tabellenteil). Häufiger treten Grundvorstellungen auf, die Energie als etwas "Stoffliches" charakterisieren, das hergestellt und verbraucht werden kann (GV 91, GV 3, GV 8, GV 1). Ebenfalls häufig vertreten ist die Fehlvorstellung, dass tierische Organismen bzw. Organismen allgemein ihre zum Leben notwendige Energie durch Licht bzw. in Form von Wärme aufnehmen (GV 85, GV 48).

Die Vielzahl der sachlich richtigen Grundvorstellungen im unteren Tabellenteil macht deutlich, dass die Oberstufenschüler während ihrer Schulzeit Wissen über Energie (im biologischen Kontext) hinzugewinnen. Dieser Wissenszuwachs relativiert sich durch die geringen Unterschiede zwischen Schülern der 5. und der 11./12. Jahrgangstufe - nicht eine einzige Grundvorstellung tritt bei Oberstufenschülern doppelt so häufig auf wie bei Schülern der 5. Klassen, die größte Differenz liegt bei 41,5 Prozent. Der weitaus größte Teil der Grundvorstellungen weist Differenzen um oder deutlich unter 20 Prozent auf

Erläuterungen zur Tabelle 4-22:

Beim Vergleich innerhalb der Sekundarstufe I ergibt sich ein etwas anderes Bild. Insgesamt nur 27 Grundvorstellungen zeigen hier eine veränderte Auftrittshäufigkeit, die in ihrem Wert größer als 5 Prozent ist. 21 dieser Grundvorstellungen treten bei den Schülern der 10. Klasse häufiger als bei den Schülern der 5. Klasse auf. Auffallend ist, dass auch hier viele Fehlvorstellungen, die Energie als etwas "Stoffliches" charakterisieren (GV 1, GV 3, GV 5, GV 6, GV 8, GV 7, GV 91), bei Schülern der 10. Jahrgangstufe öfter zu finden sind als bei Schülern der 5. Jahrgangstufe. Die Fehlvorstellung, dass Vitamine für Lebewesen als Energielieferanten dienen, nimmt dagegen - wenn auch nur um knapp 10 Prozent - ab.

Tab. 4-22: Auftrittshäufigkeit der Grundvorstellungen: Faktor Jahrgangstufe
Vergleich zwischen Schülern der 5. und 10. Jahrgangstufe
 GV, bei denen der Unterschied in der Auftrittshäufigkeit > 5% ist.

| Nr. d. GV | Inhalt der Grundvorstellung | 5 - 10 in % * |
|--------------|--|------------------|
| 19. | Energie ist in Stoffen/Dingen/Lebewesen/Teilen von Lebewesen nicht im ganzen Objekt verteilt, sondern nur an bestimmten Stellen. | 11,9 |
| 37. | Energie ist für den physischen/psychischen Zustand von Lebewesen zuständig; Energie ist "etwas", was man anregen, steigern, verlieren, trainieren kann (Energie als Ursache für Fitneß, Wohlbefinden, Unlust, Gesundheit) - Lebendiges hat Energie, Totes hat keine. | 10,1 |
| 17. | Vitamine werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. | 9,5 |
| 29. | Energie kann im Körper (von A nach B) transportiert werden. | 7,7 |
| 83. | Der Magen-Darm-Bereich ist Umwandelstelle/Umleitstelle für Energie. | 6,0 |
| 14. | Vitamine sind Energielieferanten für den Menschen. | 5,4 |
| 34. | Wärme/Wärmeenergie beschleunigt/erleichtert Reaktionen (z.B. Stoffwechselreaktionen). | -5,3 |
| 7. | Energie ist ein eigener - quasi zusätzlicher - Bestandteil von Stoffen/Nahrung/Strahlung. | -7,1 |
| 41. | Pflanzen bekommen zum Wachstum Energie von der Sonne/Sonnenlicht. | -7,8 |
| 30. | Energie kann direkt in "etwas" umgewandelt werden. | -8,3 |
| 48. | Lebewesen nehmen Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge in Form von Wärme auf. | -8,3 |
| 8. | Durch Verbrennung von Nahrung/Nahrungsbestandteilen/Mineralstoffen entsteht Energie. | -8,9 |
| 61. | Kleine Lebewesen enthalten weniger Energie als größere Lebewesen. | -10,1 |
| 6. | Energie wird verbrannt. | -11,9 |
| 2. | In Stoffen/Nahrung/Nahrungsbestandteilen ist Energie enthalten/gespeichert. | -12,5 |
| 13. | Energie wird zwischen Lebewesen und ihrer Umgebung ausgetauscht. | -13,7 |
| 4. | Lebewesen benötigen zum Überleben/für Lebensvorgänge Energie. | -17,8 |
| 31. | Energie selbst bewirkt Reaktionen/produziert etwas (z.B. Prickeln auf der Haut, Wärme). | -19,1 |
| 5. | Energie ist etwas "Stoffliches". | -19,6 |
| 1. | Energie wird in Lebewesen/im Körper hergestellt (z.B. aus Nahrung). | -20,9 |
| 15. | Energie kann in Lebewesen gespeichert werden. | -21,4 |
| 64. | Schnelle Vorgänge benötigen viel Energie und umgekehrt. | -21,5 |
| 35. | Durch "Verbrennung" in Lebewesen entsteht Wärme. | -24,4 |
| 10. | Energie kann umgewandelt werden (z.B. von einer Form in eine andere Form) - es gibt verschiedene Energieformen. | -32,1 |
| 3. | Energie wird für Lebensvorgänge verbraucht. | -35,1 |
| 43. | Durch Lebensvorgänge/Reaktionen/Stoffwechselfvorgänge/Prozesse in Lebewesen entsteht Wärme, die abgegeben wird. | -35,8 |
| 91. | Energie kann hergestellt und verbraucht werden. | -39,9 |

* Erläuterung: Die Auftrittshäufigkeiten der GV von Schülern der 10. Jahrgangstufe wurden von den Auftrittshäufigkeiten der GV von Schülern der 5. Jahrgänge subtrahiert, d.h.: GV mit positiven Werten werden häufiger von Schülern des 5. Jahrganges, GV mit negativen Werten werden häufiger von Schülern des 10. Jahrgangs angewandt.

Erläuterungen zur Tabelle 4-23:

Die Assoziationsbefragung zeigte, dass ein umfangreicherer Biologieunterricht die Anzahl an biologischen Fachausdrücken, die mit dem Begriff Energie in Verbindung gebracht werden, steigen lässt. Die Qualität - bezogen auf fachwissenschaftliche Richtigkeit - der Vorstellungen zur Energiethematik wird durch einen vermehrten Biologieunterricht in der Oberstufe jedoch nicht erhöht. So nennen Schüler mit Leistungskurs Biologie fachwissenschaftlich falsche Vorstellungen häufiger als diejenigen Schüler, die an keinem zusätzlichen bzw. intensiveren Biologieunterricht teilge-

nommen haben. Auffallend ist, dass alle Grundvorstellungen der Tabelle 4-23, die zum Energiespeicher ATP formuliert wurden, deutlich häufiger bei Schülern der Biologieleistungskurse aufgetreten sind (GV 22, GV 12, GV 21).

**Tab. 4-23: Auftrittshäufigkeit der Grundvorstellungen:
Faktor Quantität des Biologieunterrichts**
GV, bei denen der Unterschied in der Auftrittshäufigkeit > 5% ist.

| Nr. d. GV | Inhalt der Grundvorstellung | mit LK - o. LK in %* |
|------------|---|----------------------|
| 10. | Energie kann umgewandelt werden (z.B. von einer Form in eine andere Form) - es gibt verschiedene Energieformen. | 18,7 |
| 22. | ATP ist eine energiereiche Verbindung - in ATP ist Energie gespeichert. | 17,0 |
| 43. | durch Lebensvorgänge/Reaktionen/Stoffwechselfvorgänge/Prozesse in Lebewesen entsteht Wärme, die abgegeben wird. | 13,4 |
| 30. | Energie kann direkt in "etwas" umgewandelt werden. | 10,9 |
| 33. | Energieumwandlung erzeugt Wärme. | 10,6 |
| 12. | Nahrungsbestandteile/aufgenommene Stoffe werden direkt in Energie/Energiespeicher (ATP) umgewandelt. | 8,2 |
| 21. | Nahrungsbestandteile selbst sind für die Bildung von ATP (Energiespeicher) nötig. | 7,8 |
| 55. | Durch Reibung entsteht im Lebewesen Wärme. | 7,8 |
| 5. | Energie ist etwas "Stoffliches". | 7,7 |
| 31. | Energie selbst bewirkt Reaktionen/produziert etwas (z.B. Prickeln auf der Haut, Wärme). | 7,5 |
| 48. | Lebewesen nehmen Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge in Form von Wärme auf. | 6,1 |
| 15. | Energie kann in Lebewesen gespeichert werden. | 5,7 |
| 53. | Energieumwandlung ist unvollständig - Wärme wird frei. | 5,1 |
| 6. | Energie wird verbrannt. | -5,2 |
| 19. | Energie ist in Stoffen/Dingen/Lebewesen/Teilen von Lebewesen nicht im ganzen Objekt verteilt, sondern nur an bestimmten Stellen. | -5,3 |
| 35. | Durch "Verbrennung" in Lebewesen entsteht Wärme. | -5,4 |
| 90. | Wasser ist Energie(speicher) für Lebewesen. | -6,0 |
| 42. | Lebewesen brauchen Wärme zum Leben. | -6,4 |
| 89. | Pflanzen nehmen Energie durch Wasser auf. | -6,9 |
| 44. | Sonne ist Wärmespender (spendet Energie nicht in Form von Licht oder kurzwelliger Strahlung), Sonne spendet Energie nur in Form von Wärme. | -7,9 |

* Erläuterung: Die Auftrittshäufigkeiten der GV von Schülern ohne Leistungskurs Biologie (LK Biologie) wurden von den Auftrittshäufigkeiten der GV von Schülern mit LK Biologie subtrahiert, d.h.: GV mit positiven Werten werden häufiger von Schülern mit LK Biologie, GV mit negativen Werten werden häufiger von Schülern ohne LK Biologie angewandt.

Zur Analyse, ob das Spektrum der Grundvorstellungen von den ausgewählten Faktoren beeinflusst wird, wurden die Probandengruppen des jeweiligen Faktors verglichen. Gezählt wurden dabei diejenigen Grundvorstellungen, die nur in einer der beiden Probandengruppen auftraten.

Tab. 4-24: Einfluss der analysierten Faktoren auf das Spektrum der GV

| Faktor | Geschlecht | | Jahrgangstufe | | Naturw. Interesse | | Schulumgebung | | Schulform | |
|---|------------|----|---------------|-----|-------------------|------|---------------|------|---------------------|--------------------|
| | Ju | Mä | 5 | SII | Ja | Nein | Stadt | Land | GY | GE |
| Zahl der GV, die nur in diese Gruppe auftritt | 3 | 4 | 21 | 3 | 3 | 11 | 2 | 5 | 13 (alle) 6 (SI) | 0 (alle) 0 (SI) |

Das Ergebnis weist den gleichen Trend auf, der auch bei der Analyse des Einflusses ausgewählter Faktoren auf die Auftrittshäufigkeit der Grundvorstellungen festgestellt wurde. Mit Ausnahme des Faktors Jahrgangstufe wird das Spektrum der Vorstellungen nur unwesentlich beeinflusst. Maximal 13 der 91 Grundvorstellungen traten nur in einer der analysierten Gruppenpaare auf. Dieser geringe Unterschied wird noch weiter relativiert: Alle in Tabelle 4-24 ausgewiesenen Unterschiede betreffen Grundvorstellungen, deren Auftrittshäufigkeit zumeist weit unter einem Prozent liegen. Bei 36 der 41 Grundvorstellungen sind es jeweils nur ein oder zwei Schüler, bei denen die entsprechende Grundvorstellung auftritt und durch die es zu einer Veränderung des Spektrums bezüglich der analysierten Faktoren kommt.

Auffallend ist das Ergebnis beim Faktor Schulform. Die gesamte Änderung des Spektrums kommt hier durch Grundvorstellungen zustande, die ausschließlich bei Gymnasiasten auftreten. Die Vermutung, dass Gymnasiasten durch einen anspruchsvolleren naturwissenschaftlichen Unterricht ein korrekteres und weiter gefächertes Wissen über "Energie im biologischen Kontext" besitzen (vgl. Kap. 4.2.2, S. 116), lässt sich durch dieses Ergebnis jedoch nicht belegen: 8 der 13 Grundvorstellungen sind Fehlvorstellungen, sämtliche Unterschiede betreffen - wie bereits erwähnt - Grundvorstellungen, die bei weniger als einem Prozent der Gymnasiasten in ihren Antworten auftraten. Eine Schulstufe (Sekundarstufe I oder II), in der die Grundvorstellungen gehäuft auftreten, ist nicht zu erkennen: Sechs Grundvorstellungen treten nur in der Sekundarstufe I, fünf nur in der Sekundarstufe II und zwei treten in beiden Stufen auf.

Die Vermutung liegt nahe, dass diese Unterschiede auf die um die Hälfte geringere Probandenzahl der Gesamtschüler zurückzuführen ist.

Dieses Ergebnis kann jedoch nicht als allgemeiner Trend ausgelegt werden, da aus organisatorischen Gründen nur Schüler einer Gesamtschule befragt wurden.

Exkurs: In welchen Nahrungsbestandteilen ist für den Organismus nutzbare Energie gespeichert?

In Hinblick auf die beiden Themenbereiche B "Vorkommen, Speicherung, Transport und Umwandlung von Energie in Organismen" und C "Aufnahme und Abgabe von Energie bei Organismen" wurde ermittelt, welche Nahrungsbestandteile nach Ansicht der Schüler für Organismen nutzbare Energie speichern. Als mögliche Antworten wurden den Schülern folgende Ausdrücke im Rahmen eines Multiple-choice-Tests (durchgeführt in Frage 2 im Fragebogen A, vgl. Tab. 4-18, S. 152) zum Ankreuzen vorgegeben: Kohlenhydrate, Eiweiße, Fette, Vitamine, Mineralstoffe/Spurenelemente und Wasser¹⁵.

Die Analyse der Daten zeigt: Die Häufigkeit, mit der die einzelnen Nahrungsbestandteile genannt werden, hängt im wesentlichen vom Faktor "Jahrgangstufe" ab. Bei allen anderen Faktoren lagen die Differenzen bei den analysierten Gruppenpaaren unter 12 Prozent. In der Abbildung 4-6 (nächste Seite) sind alle Faktoren aufgeführt, bei denen die Differenz mindestens bei einem Nahrungsbestandteil größer als 6% ist.

Folgende Aspekte sind auffallend:

1. Die tatsächlichen Energieträger Kohlenhydrate, Eiweiß und Fette werden von älteren Schülern am häufigsten genannt. Die für die Energieversorgung nicht relevanten Bestandteile Wasser, Mineralstoffe/Spurenelemente und vor allem Vitamine werden besonders von den Schülern der 5. Jahrgänge ebenfalls als Energieträger für den Körper angesehen.

¹⁵ Das Ankreuzverhalten bei dieser Frage wurde nicht bei der Aufstellung von Grundvorstellungen bzw. bei der Bestimmung der Auftrittshäufigkeit von Grundvorstellungen - wie etwa der GV 20 "Vitamine selbst sind Energie" - benutzt.

Beim Nahrungsbestandteil Eiweiß sind dabei die Unterschiede in der Häufigkeit der Nennung bezüglich der aufgeführten Faktoren am geringsten (max. 9 %), beim Nahrungsbestandteil Vitamine sind sie am größten (max. 28%).

2. Schüler, die keinen Leistungskurs Biologie besuchen, nennen die nicht relevanten Nahrungsbestandteile Wasser, Mineralstoffe/Spurenelemente und Vitamine zwischen 3 und 11 % häufiger als die entsprechenden Leistungskurschüler.

In welchen Bestandteilen der Nahrung steckt für unseren Körper nutzbare Energie?

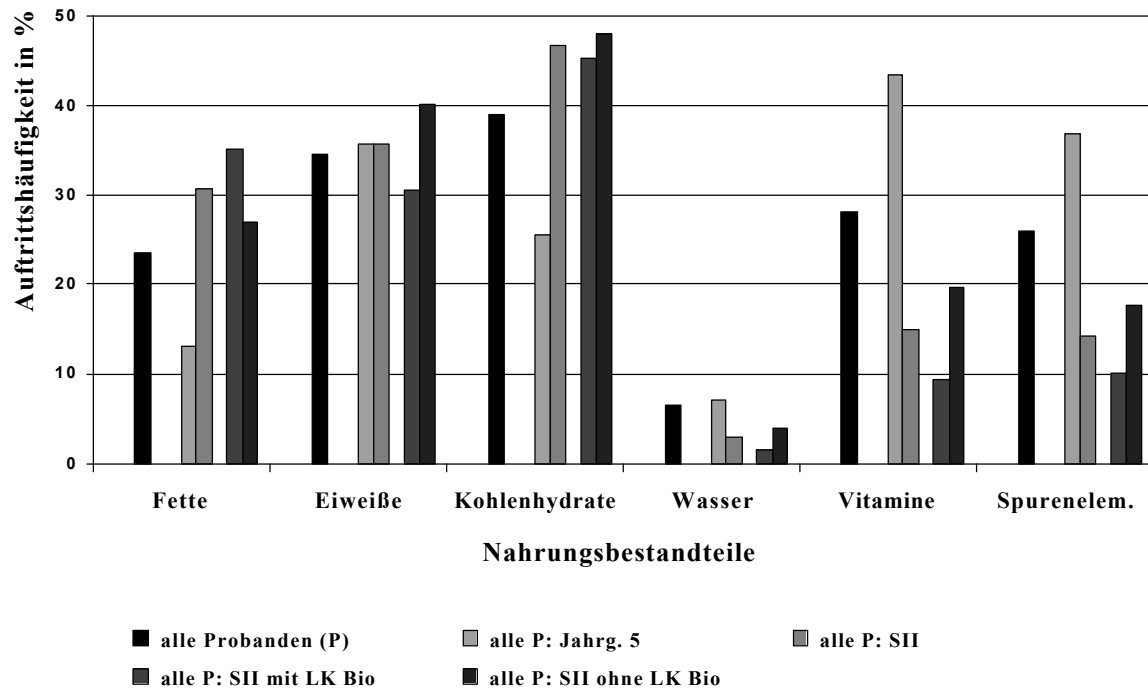


Abb. 4-6: Übersicht über Nahrungsbestandteile, die von Schülern als Energiequelle für Organismen angesehen werden (Balken zu einem analysierten Faktor (z.B. Jahrgangstufe) sind zur besseren Übersicht direkt nebeneinander gezeichnet.)

4.5.6 Diskussion

Für die Planung von Unterricht auf der Basis von Schülervorstellungen ist es entscheidend, von welcher Güte die Daten zu den erhobenen Schülervorstellungen sind. Zur diesbezüglichen Diskussion werden zunächst die Ergebnisse dieser Studie zusammengefasst und Ergänzungen durch die Ergebnisse aus den Begleitstudien vorgenommen. Anschließend werden die in Hinblick auf die Validität der Daten relevanten Ergebnisse und Überlegungen aus der Fragebogen- und Interviewstudie sowie den Begleitstudien zusammengestellt und in Kap. 4.5.6.2 bis 4.5.6.4 zusammenfassend diskutiert. Nach einer Diskussion der angewandten Untersuchungsmethode (Kap. 4.5.6.5) werden abschließend mögliche Wissensquellen für aus wissenschaftlicher Sicht falsche Schülervorstellungen erörtert sowie ein Vergleich zwischen den ermittelten Ergebnissen und den Daten früherer Untersuchungen aus anderen Arbeitsgruppen (Kap. 4.5.6.6) vorgenommen.

4.5.6.1 Zusammenfassung der Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext"

Die mit den Fragebögen und Interviews erhobenen Aussagen sind keine zufällige Ansammlung unterschiedlicher Vorstellungen. Die ermittelten Vorstellungen fügen sich aufgrund ihrer fast ausschließlich widerspruchsfreien Inhalte (vgl. Kreuzmatrix, Kap. 4.5.6.2, S. 199f) für jeden einzelnen Schüler zu einem persönlichen individuellen Wissensnetz zu "Energie im biologischen Kontext" zusammen.

Durch einen Vergleich der einzelnen individuellen Wissensnetze aller befragter Probanden werden Übereinstimmungen und übergeordnete Zusammenhänge des facettenreichen Gesamtbildes von "Energie im biologischen Kontext" erkennbar. Deshalb können aus den KSA und GV (vgl. Anhang V und VI), den Ergebnissen aus den Begleitstudien und den während der Auswertung der Fragebögen und Interviews über acht Jahre zusätzlich gesammelten, nicht dokumentierten Erfahrungen zum gesamten Themenkomplex "Energie im biologischen Kontext" übergreifende "Vorstellungsgebäude" (VG) formuliert werden.

Diese Vorstellungsgebäude fassen dabei inhaltlich ähnliche bzw. korrespondierende Grundvorstellungen zusammen. Dabei wird im Gegensatz zur Formulierung der Grundvorstellungen sowohl von der Ausdrucksweise und der Wortwahl der Schüler als auch von ihren Beispielen und Analogien abstrahiert (vgl. Abb. 4-7). Die Vorstellungsgebäude können wegen ihrer inhaltlichen Nähe nicht überschneidungsfrei sein.

Neben den Inhalten der Schülervorstellungen (qualitativer Aspekt) sollen laut Zielformulierung auch quantitative Aussagen über die entsprechenden Vorstellungsinhalte möglich sein. Deshalb sind zu allen Vorstellungsgebäuden in den nachfolgenden Tabellen die inhaltlich relevanten Grundvorstellungen mit Angaben zur Auftrittshäufigkeit und zur Kontextflexibilität aufgelistet. Zur Auftrittshäufigkeit sind zum einen die Daten in Hinblick auf die Gruppe aller 784 befragten Schüler und zum anderen die Daten getrennt nach dem Faktor "Jahrgangstufe" angegeben. Der Faktor Jahrgangstufe ist ausgewählt, weil er von den analysierten Faktoren (vgl. Kap. 4.2.2, S. 115) derjenige mit dem größten Einfluss auf die Auftrittshäufigkeit der Grundvorstellungen ist. Die Kontextflexibilität wird, wie in Tabelle 20 (S. 165 - 169), mit einer Ziffer zwischen 1 und 20 bemessen. Der Kf-Wert gibt dabei an, in wie vielen der insgesamt 20 unterschiedlichen Fragestellungen der Fragebogenstudie die entsprechende Grundvorstellung zur Erklärung herangezogen wurde.

In den erläuternden Kommentaren werden von den aufgelisteten Grundvorstellungen nur diejenigen berücksichtigt, die für das jeweilige Vorstellungsgebäude wichtig erscheinen: Erwähnenswert

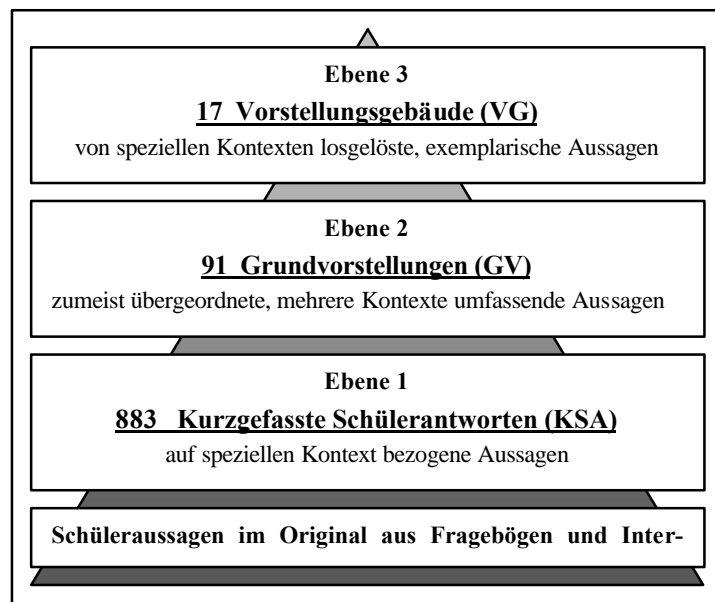


Abb. 4-7: Inhaltliche Verdichtung von Schülervorstellungen

sind dabei Grundvorstellungen durch ihren Inhalt oder/und durch besonders hohe oder niedrige Werte bezüglich der Kontextflexibilität oder der Auftrittshäufigkeit.

Unberücksichtigt bleiben in der folgenden Zusammenfassung die Ergebnisse der Interviewstudie, da mit Hilfe der 20 befragten Personen keine zusätzlichen Vorstellungsinhalte aufgedeckt werden konnten (vgl. Kap. 4.5.6.3, S. 201).

Die in neun Begleitstudien durchgeführten Fragebogenstudien und Interviewreihen bestätigen die im Rahmen der Fragebogenstudie erhobenen Vorstellungsinhalte (genaue Angaben zu den Begleitstudien vgl. Kap. 4.5.6.4, S. 202). Lediglich *ein* Vorstellungsgebäude wurde durch sie neu aufgedeckt. In den folgenden Ausführungen sind nur diejenigen Daten der Begleitstudien vorgestellt, die zur inhaltlichen Ergänzung der Vorstellungsgebäude führen oder die bezüglich der Auftrittshäufigkeit der Vorstellungsgebäude dem Trend dieser Studie widersprechen. Wegen der unterschiedlichen Methoden und stark differierenden Probandenanzahlen der Begleitstudien dienen die Ergebnisse nicht zur quantitativen Absicherung der Vorstellungsgebäude.

Die folgenden 17 Vorstellungsgebäude (eingekästelte Texte) sind den drei Themenbereichen A, B und C der Zielformulierung zugeordnet: A1 Eigenschaften, A2 Zweck, B1 Vorkommen, Speicherung und Transport, B2 Umwandlung sowie C Aufnahme u. Abgabe von Energie in Organismen. Die aus naturwissenschaftlicher Sicht falschen Vorstellungsinhalte sind durch Fettdruck gekennzeichnet. Die Hauptaussagen der Vorstellungsgebäude sind durch Unterstreichungen hervorgehoben. Sortiert sind die Grundvorstellungen nach der Kontextflexibilität (Kf-Wert). Bei gleicher Kontextflexibilität sind die Grundvorstellungen nach der Auftrittshäufigkeit in der Gesamtgruppe aufgeführt.

A Vorstellungen zu Energie in Organismen

A1 Eigenschaften von Energie

A1-1: Energie ist etwas "Stoffliches".

Entweder werden Stoffe wie z.B. die Nahrungsbestandteile Vitamine, Mineralstoffe oder Wasser selbst als Energie bezeichnet oder aber Energie als "kleine Teilchen" angesehen, die in Stoffen - quasi zusätzlich zu den "eigentlichen" Bestandteilen - enthalten sind. Energie ist wie ein Stoff transportier- und zählbar und hat deshalb mengenartigen Charakter (große Tiere haben viel, kleine Tiere haben wenig Energie; schnelle Vorgänge benötigen viel und langsame Vorgänge wenig Energie). Energie wird als brennbar beschrieben.

Erläuterungen zur Tabelle 4-25:

Die Vorstellung, dass Energie stofflichen Charakter besitzt, ist besonders durch die GV 5, GV 6, GV 7 und GV 9 mit einer hohen Kontextflexibilität zwischen 7 und 14 abgesichert. Die inhaltlich entscheidende GV 5 "Energie ist etwas "Stoffliches"." wird zudem mit über 33 Prozent bei allen Probanden sehr häufig gefunden. Die den stofflichen Charakter von Energie stützende GV 6 "Energie wird verbrannt." nimmt im Laufe der Sekundarstufe I von 3,6 auf 15,5 Prozent zu. Oberstufenschüler vertreten diese Vorstellung nur noch zu 7,5 Prozent. Die Auffassung, dass die Nahrung bzw. ihre Bestandteile selbst Energie sind (GV 9), nimmt dagegen kontinuierlich ab, von 8,9 Prozent im 5. Jahrgang auf 6,4 Prozent in der Oberstufe.

Der zur stofflichen Auffassung von Energie passende mengenartige Charakter wird durch die häufig angewandte GV 61 "Kleine Lebewesen enthalten weniger Energie als größere Lebewesen." hervorgehoben.

Tab. 4-25: Grundvorstellungen, die thematisch zum Vorstellungsgebäude A 1-1 passen

| GV-Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | Kf-Wert | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | SII in % |
|-----------|---|---------|----------------------|------------|------------|-------------|----------|
| | | | Anzahl der Probanden | | | | |
| | | | 784 | 168 | 168 | 168 | 280 |
| 5. | Energie ist etwas "Stoffliches". | 14 | 33,3 | 26,2 | 36,9 | 45,8 | 27,9 |
| 6. | Energie wird verbrannt. | 12 | 9,7 | 3,6 | 13,7 | 15,5 | 7,5 |
| 9. | Nahrung/Nahrungsbestandteile/Stoffe sind Energie. | 11 | 8,9 | 13,7 | 7,7 | 9,5 | 6,4 |
| 7. | Energie ist ein eigener - quasi zusätzlicher - Bestandteil von Stoffen/ Nahrung/ Strahlung. | 7 | 8,5 | 4,8 | 9,5 | 11,9 | 8,2 |
| 39. | Energie ist nicht mit Sinnen fassbar. | 2 | 1,5 | 0,0 | 0,0 | 2,4 | 2,9 |
| 20. | Vitamine selbst sind Energie. | 2 | 1,4 | 3,0 | 0,6 | 1,8 | 0,7 |
| 77. | Wärme stammt aus Energie. | 2 | 1,1 | 0,0 | 2,4 | 0,0 | 1,8 |
| 61. | Kleine Lebewesen enthalten weniger Energie als größere Lebewesen. | 1 | 35,6 | 25,6 | 32,1 | 35,7 | 43,6 |
| 76. | In bestimmten Lebewesen (z.B. Quallen) ist keine Energie. | 1 | 0,5 | 0,0 | 0,6 | 0,6 | 0,7 |
| 62. | Große Lebewesen brauchen zum Leben mehr Energie als kleine Lebewesen. | 1 | 0,3 | 0,0 | 1,2 | 0,0 | 0,0 |
| 74. | Mineralstoffe sind Energie. | 1 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 1,2 | 0,0 |
| 88. | Pflanzen sind Energie. | 1 | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 0,0 | 0,0 |

Die GV 76 "In bestimmten Lebewesen (z.B. Quallen) ist keine Energie." deutet ebenfalls auf die stoffliche Natur der Energie hin: Dort, wo nichts zu sehen ist, wie bei der fast durchsichtigen Qualle, kann auch keine Energie sein.

Die naturwissenschaftlich korrekte Vorstellung von Energie im Sinne einer nicht mit Sinnen fassbaren (Rechen-) Größe (der Naturwissenschaften) (GV 39) wird erst ab der 10. Jahrgangstufe von nur 2,4 bzw. 2,9 Prozent der Schüler in der SII vertreten.

Die Ergebnisse aller neun Begleitstudien belegen die Existenz dieses Vorstellungsgebäudes (vgl. Tab. 4-46, S. 204).

A1-2: Energie ist etwas Abstraktes, eine Eigenschaft, die Lebewesen besitzen können.

Denken ist Energie.

Tab. 4-26: Grundvorstellungen, die thematisch zum Vorstellungsgebäude A 1-2 passen

| GV-Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | Kf-Wert | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | SII in % |
|-----------|--|---------|----------------------|------------|------------|-------------|----------|
| | | | Anzahl der Probanden | | | | |
| | | | 784 | 168 | 168 | 168 | 280 |
| 16. | Energie wird mit den Adjektiven "gesund, unbehandelt, natürlich" und den Substantiven "Obst, Müsli" in Verbindung gebracht. | 7 | 1,8 | 4,2 | 1,8 | 1,2 | 0,7 |
| 37. | Energie ist für den physischen/psychischen Zustand von Lebewesen zuständig; Energie ist "etwas", was man anregen, steigern, verlieren, trainieren kann (Energie als Ursache für Fitneß, Wohlbefinden, Unlust, Gesundheit) - Lebendiges hat Energie, Totes hat keine. | 5 | 22,3 | 26,8 | 28,6 | 16,7 | 19,3 |
| 32. | Solange Nahrung im Körper ist, hat ein Lebewesen Energie. | 2 | 0,9 | 0,0 | 2,4 | 0,6 | 0,7 |
| 70. | Ist keine Energie und Wärme vorhanden, tritt Verwesung ein. | 1 | 0,9 | 0,6 | 1,8 | 1,2 | 0,4 |
| 59. | Denken ist Energie. | 1 | 0,3 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Erläuterungen zur Tabelle 4-26:

Die alltagssprachliche Bedeutung von Energie als "Organismen und Dingen zugesprochene Eigenschaft" (vgl. Kap. 1.2) findet sich auch in sechs Grundvorstellungen wieder. Die GV 16 und GV 37, die eine hohe Kontextflexibilität aufweisen und hierbei insbesondere die GV 37 mit einer durchgängigen Auftrittshäufigkeit von ca. 20 Prozent belegen diese verbreitete Auffassung von "Energie im biologischen Kontext".

Die "Eigenschaft Energie" (zum Ausdruck gebracht durch Adjektive wie z.B. energiereich oder aktiv) erreichen Menschen dadurch, dass sie sich gesund mit Obst, Gemüse, Müsli - allgemein vitamin- und mineralstoffreich (vgl. GV 14, GV 17, GV 18 und GV 74 im Vorstellungsgebäude B1-3) - ernähren. Dass besonders "gesundes" Obst und Gemüse von Schülern jeden Alters als energiereiche Lebensmittel eingeschätzt werden, konnte in der Begleitstudie zum Energiestoffwechsel des Menschen deutlich bestätigt werden (BRIEST 1999). Auf die Frage "Welche Nahrungsmittel sind besonders energiereich?" antworteten von den befragten Gymnasiasten der 7., 9. und 12. Jahrgangstufe insgesamt 57 Prozent Obst und 45 Prozent Gemüse. *Nur* 14 Prozent der Befragten schätzten Süßigkeiten als besonders energiereich ein, bei den 7.- und 9.- Klässlern waren es gar weniger als 0,5 (!) Prozent.

Diese zweite Auffassung von Energie als eine nicht direkt mit den Sinnen fassbare Eigenschaft - in Abgrenzung zu einer stofflichen Vorstellung von Energie (vgl. Vorstellungsgebäude A1-1) - wird auch durch die GV 59 "Denken ist Energie" gestützt.

Die Ergebnisse von fünf der neun Begleitstudien belegen die Existenz dieses Vorstellungsgebäudes.

A2 Zweck von Energie

A2-1: Energie bzw. Wärme(energie) wird mit "Phänomenen des Lebendigen" und "Aspekten von Gesundheit" in Verbindung gebracht. Energie selbst, als Stoff bzw. in Form von Wärme(energie), ist dabei für den Ablauf bestimmter Reaktionen/Phänomene notwendig.

Der "Stoff Energie" bewirkt etwas bzw. wird zu etwas umgewandelt. Energie (Wärme als eine Energieform) ist für Tätigkeiten, das Leben allgemein, die Leistungsfähigkeit, das Wohlbefinden und die Gesundheit der Lebewesen nötig. Ihr Vorhandensein oder Nicht-Vorhandensein ist Ursache für den physischen und psychischen Allgemeinzustand eines Lebewesens. Lebewesen ohne Energie sind tot, verwesen. Größere Lebewesen benötigen mehr Energie als kleinere Lebewesen.

Erläuterungen zur Tabelle 4-27:

Dieselben Grundvorstellungen, die unter A1-2 Energie als eine "Eigenschaft" von Lebewesen bestimmt haben, zuzüglich der verbreiteten GV 4 "Lebewesen benötigen zum Überleben/für Lebensvorgänge Energie." dienen dazu, den Zweck zu charakterisieren, den Schüler mit Energie, Energieaufnahme und -umwandlung verbinden: Lebewesen benötigen Energie zum Überleben und für ihre Lebensvorgänge. Chemische Reaktionen und Vorgänge im Körper benötigen zum Ablauf Energie (GV 60). Besonders für Bewegungen wird Energie benötigt (vgl. GV 57 und GV 56). Das Vorhandensein von Energie ermöglicht allgemein Leben. Sind Energie und Wärme nicht vorhanden, tritt Verwesung und damit der Tod ein (GV 70). Jeweils 0,6 Prozent der 5.- und 10.- Klässler geben dabei an, dass Energie zum Schaffen und zur Erhaltung von Ordnung benötigt wird (GV 72). Diese aus naturwissenschaftlicher Sichtweise korrekte und in Hinblick auf Lebewesen komplexe Aussage zu Energie erstaunt, da zumindest die 5.-Klässler diesbezügliche Zusammenhänge

im naturwissenschaftlichen Unterricht laut Richtlinien (vgl. Kap. 2.2.2, S. 38f) noch nicht behandelt haben.

Tab. 4-27: Grundvorstellungen, die thematisch zum Vorstellungsgebäude A2-1passen

| GV- Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | Kf-Wert | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | SII in % |
|------------|---|---------|----------------------|------------|------------|-------------|----------|
| | | | Anzahl der Probanden | 784 | 168 | 168 | 168 |
| 4. | Lebewesen benötigen zum Überleben/für Lebensvorgänge Energie. | 13 | 64,9 | 53,6 | 57,1 | 71,4 | 72,5 |
| 31. | Energie selbst bewirkt Reaktionen/produziert etwas (z.B. Prickeln auf der Haut, Wärme). | 8 | 23,2 | 8,3 | 20,8 | 27,4 | 31,1 |
| 33. | Energieumwandlung/Energieverbrauch/Energieherstellung erzeugt Wärme. | 7 | 7,9 | 1,2 | 5,4 | 4,8 | 15,4 |
| 16. | Energie wird mit den Adjektiven "gesund, unbehandelt, natürlich" und den Substantiven "Obst, Müsli" in Verbindung gebracht. | 7 | 1,8 | 4,2 | 1,8 | 1,2 | 0,7 |
| 42. | Lebewesen brauchen Wärme zum Leben. | 6 | 14,3 | 14,9 | 14,3 | 16,1 | 12,9 |
| 37. | Energie ist für den physischen/psychischen Zustand von Lebewesen zuständig; Energie ist "etwas", was man anregen, steigern, verlieren, trainieren kann (Energie als Ursache für Fitneß, Wohlbefinden, Unlust, Gesundheit) - Lebendiges hat Energie, Totes hat keine. | 5 | 22,3 | 26,8 | 28,6 | 16,7 | 19,3 |
| 34. | Wärme/Wärmeenergie beschleunigt/erleichtert Reaktionen (z.B. Stoffwechselreaktionen). | 5 | 8,7 | 2,4 | 10,7 | 7,7 | 11,8 |
| 60. | Chemische Reaktionen/Vorgänge im Körper (Verdauung) benötigen zum Ablaufer Energie. | 5 | 1,9 | 0,6 | 1,2 | 3,0 | 2,5 |
| 57. | Bewegung/Muskelbewegung braucht (viel) Energie - Abläufe beim Denken brauchen jedoch wenig Energie. | 2 | 3,7 | 3,6 | 4,8 | 3,0 | 3,6 |
| 46. | Pflanzen nehmen (für ihre Lebensvorgänge) Energie in Form von Wärme auf. | 2 | 2,7 | 3,0 | 1,8 | 1,2 | 3,9 |
| 56. | Mensch braucht für geistige Tätigkeit keine Energie - bei Ruhe/bei Bewegungslosigkeit wird keine Energie benötigt. | 2 | 1,5 | 1,8 | 1,2 | 1,2 | 1,8 |
| 32. | Solange Nahrung im Körper ist, hat ein Lebewesen Energie. | 2 | 0,9 | 0,0 | 2,4 | 0,6 | 0,7 |
| 69. | Man braucht Wärme zum Verwesen. | 1 | 1,5 | 1,2 | 2,4 | 2,4 | 0,7 |
| 70. | Ist keine Energie und Wärme vorhanden, tritt Verwesung ein. | 1 | 0,9 | 0,6 | 1,8 | 1,2 | 0,4 |
| 58. | Bestimmte Stellen/Prozesse in Lebewesen benötigen viel Energie. | 1 | 0,5 | 0,0 | 1,2 | 1,2 | 0,0 |
| 62. | Große Lebewesen brauchen zum Leben mehr Energie als kleine Lebewesen. | 1 | 0,3 | 0,0 | 1,2 | 0,0 | 0,0 |
| 51. | Tote Lebewesen geben (bei Verwesung) ihre Wärme ab. | 1 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 0,4 |
| 72. | Zum Schaffen und Erhalten von Ordnung braucht man Energie. | 1 | 0,3 | 0,6 | 0,0 | 0,6 | 0,0 |

Mit zunehmendem Alter verbreitet ist auch die Vorstellung, dass die Energie selbst für das Ablaufer von Reaktionen verantwortlich ist (GV 31, Kontextflexibilität 8, Auftrittshäufigkeit 23 Prozent bei allen Probanden, 8 Prozent bei den 5.-Klässlern und 31 Prozent bei den Oberstufenschülern): Aufgenommene Energie ist für die Produktion von Wärme verantwortlich, lässt Hautbräunung und Prickelgefühle entstehen und verursacht das Zusammenziehen von Muskeln.

Den Zweck von Energie als Voraussetzung zum Leben sehen viele Schüler direkt mit Wärme verbunden: Lebewesen brauchen Wärme zum Leben (GV 42, Kontextflexibilität 6, Auftrittshäufigkeit 14 Prozent). Auch Pflanzen benötigen für ihre Lebensvorgänge Wärme (GV 46). Wärme ermöglicht bzw. erleichtert Reaktionen (GV 34, Kontextflexibilität 5).

Die Ergebnisse aller neun Begleitstudien belegen die Existenz dieses Vorstellungsgebäudes.

B Vorkommen, Speicherung, Transport und Umwandlung von Energie in Organismen

B1 Vorkommen, Speicherung und Transport von Energie

B1-1: Energie ist nur bzw. besonders in Biomasse an bestimmten Orten.

Energie ist in Organismen depotartig vorhanden, d.h. in bestimmten Zellen oder an bestimmten Orten bzw. in bestimmten Bereichen des Lebewesens. Vor allem diejenigen Teile des Lebewesens enthalten Energie, die sich bewegen oder bewegen lassen bzw. die "gesund" sind.

Tab. 4-28: Grundvorstellungen, die thematisch zum Vorstellungsgebäude B1-1 passen

| GV- Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | Kf-Wert | Anzahl der Probanden | | | | |
|------------|---|---------|----------------------|------------|------------|-------------|---------|
| | | | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | SH in % |
| | | | 784 | 168 | 168 | 168 | 280 |
| 17. | Vitamine werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. | 8 | 11,2 | 20,2 | 16,1 | 10,7 | 3,2 |
| 16. | Energie wird mit den Adjektiven "gesund, unbehandelt, natürlich" und den Substantiven "Obst, Müsli" in Verbindung gebracht. | 7 | 1,8 | 4,2 | 1,8 | 1,2 | 0,7 |
| 19. | Energie ist in Stoffen/Dingen/Lebewesen/Teilen von Lebewesen nicht im ganzen Objekt verteilt, sondern nur an bestimmten Stellen. | 6 | 26,8 | 36,3 | 32,1 | 24,4 | 19,3 |
| 82. | Energie ist in Lebewesen dort/dort gespeichert, wo sie (zumeist) etwas "mit Sinnen Wahrnehmbares", etwas Offensichtliches vollbringen kann (hauptsächlich in bewegten u. bewegbaren Körperteilen: Gliedmaßen, deren Muskeln u. im Kopf) + Negation der Aussage. | 3 | 15,1 | 20,8 | 16,1 | 19,0 | 8,6 |
| 28. | In Dingen/Nahrungsbestandteilen/Körperteilen steckt überall Energie. | 3 | 4,0 | 1,2 | 3,0 | 6,0 | 5,0 |
| 18. | Mineralstoffe/Spurenelemente werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. | 2 | 2,3 | 3,0 | 3,6 | 1,8 | 1,4 |
| 76. | In bestimmten Lebewesen (z.B. Quallen) ist keine Energie. | 1 | 0,5 | 0,0 | 0,6 | 0,6 | 0,7 |
| 80. | Es gibt verschieden gute Energiespeicher. | 1 | 0,3 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,4 |

Erläuterungen zur Tabelle 4-28:

Das Vorstellungsgebäude "Energie ist in Biomasse nur bzw. besonders an bestimmten Orten gespeichert" ist häufig in der Unter- und Mittelstufe anzutreffen. Die Kontextflexibilität der GV 19 und GV 82 von 6 bzw. 3 sowie die Auftrittshäufigkeit der GV 19 mit über 19 Prozent bei den Oberstufenschülern verdeutlicht jedoch, wie allgemein bedeutsam diese Ansicht zu "Energie im biologischen Kontext" bei allen Schülern ist.

Der unterschiedliche Energiegehalt, der von Schülern im Rahmen dieser Arbeit insbesondere sich bewegenden (z.B. Armen und Beinen) und nicht aktiv bewegenden Körperteilen (z.B. Haare, Fingernägel) zugeordnet wird, belegt noch einmal die Wichtigkeit des Vorstellungsgebäudes A2-1 "Energie wird mit "Phänomenen des Lebendigen" in Verbindung gebracht". Dort, wo man mit Sinnen etwas wahrnehmen kann - wie z.B. die Bewegung von Dingen -, ist Energie enthalten. In diesen Zusammenhang passt die zwar nur selten, dafür aber im 8. und 10. Jahrgang sowie in der Oberstufe gleichermaßen aufgetretene Vorstellung, dass Quallen als (fast) durchsichtige Lebewesen, die sich zudem kaum bewegen, keine Energie besitzen (GV 76).

Weniger verbreitet als die Vorstellung "Dinge, die etwas mit Sinnen Wahrnehmbares vollbringen, besitzen Energie" ist die Vorstellung, dass Obst und Gemüse als "gesunde" Lebensmittel (besonders viel) Energie enthalten. In Bezug auf Obst gaben viele Schüler an, dass nicht die ganze Frucht

Energie enthalte, sondern nur die vitamin- und mineralstoffreiche¹⁶ Schale. Dieser Teil des Vorstellungsbäudes wird durch die Kombination der GV 16, GV 17, GV 18 und GV 19 gestützt.

Die Ergebnisse von fünf der neun Begleitstudien belegen die Existenz dieses Vorstellungsbäudes.

B1-2: Energie entsteht in Lebewesen.

Lebewesen nehmen "etwas" - zumeist wurde Nahrung genannt - auf, um Energie zum Leben selber herzustellen.

Tab. 4-29: Grundvorstellungen, die thematisch zum Vorstellungsbäude B1-2 passen

| GV- Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | Kf-Wert | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | SII in % |
|------------|--|---------|----------------------|------------|------------|-------------|----------|
| | | | Anzahl der Probanden | 784 | 168 | 168 | 168 |
| 91. | Energie kann hergestellt und verbraucht werden. | 19 | 65,1 | 36,3 | 61,3 | 76,2 | 77,9 |
| 1. | Energie wird in Lebewesen/im Körper hergestellt (z.B. aus Nahrung). | 13 | 28,4 | 8,9 | 25,0 | 29,8 | 41,4 |
| 12. | Nahrungsbestandteile/aufgenommene Stoffe/Lichtstrahlen werden direkt in Energie/Energiespeicher (ATP) umgewandelt. | 8 | 10,3 | 4,8 | 4,2 | 8,9 | 18,2 |
| 21. | Nahrungsbestandteile selbst sind für die Bildung von ATP (Energiespeicher) nötig. | 4 | 2,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 7,5 |
| 79. | Bestimmte Vorgänge/Prozesse (z.B. Photosynthese) in Lebewesen erzeugen Energie. | 2 | 0,6 | 0,0 | 1,2 | 0,0 | 1,1 |
| 87. | Pflanzen stellen Energie selber her. | 1 | 0,5 | 0,0 | 1,2 | 0,0 | 0,7 |

Erläuterungen zur Tabelle 4-28:

Lebewesen benötigen für ihre Lebensvorgänge Energie (GV 4). Diese verbreitete Vorstellung zu Energie im biologischen Kontext (vgl. Vorstellungsbäude A1-2) wird durch das Vorstellungsbäude B1-2 spezifiziert: Viele Schüler gehen davon aus, dass die zum Leben notwendige Energie in den Lebewesen erst hergestellt werden muss. Die GV 1 und GV 12, auf die sich dieses Vorstellungsbäude im wesentlichen stützt, weisen eine hohen Kontextflexibilität von 8 und 13 auf. Die in diesem Zusammenhang übergeordnete GV 91 "Energie kann hergestellt und verbraucht werden" weist sogar mit 19 den höchsten Kontextflexibilitätswert aller Grundvorstellungen auf.

Auffallend ist, dass dieses Vorstellungsbäude bei Schülern ab der Mittelstufe an Auftrittshäufigkeit zunimmt. Die Thematisierung energetischer Aspekte in den naturwissenschaftlichen Fächern (vgl. Richtlinien in Kap. 2.2.2, S. 38f) führt also nicht zu einer Verminderung, sondern zu einem vermehrten Auftreten dieser falschen Vorstellung. Insbesondere bei Oberstufenschülern sind die GV 1, GV 12 und GV 91 häufig vertreten.

Die Ergebnisse von sieben der neun Begleitstudien belegen die Existenz dieses Vorstellungsbäudes.

¹⁶ Viele Schüler verwendeten bei ihren Antworten nicht den Ausdruck "Mineralstoff", sondern "Mineralsalz".

B1-3: Energie kann in Lebewesen gespeichert werden. Die Speicherung von Energie ist dabei entweder direkt an Materie gebunden (wie z.B. Vitamine, Mineralstoffe, Wasser u. Gase - Oberstufenschüler nennen auch ATP) o. aber "materiell ungebunden" (vgl. A1-2).

Ist die Energiespeicherung materiell, so enthalten die energiespeichernden Stoffe Energie als zusätzlichen "Bestandteil", werden selbst als Energie bezeichnet (Nahrungsbestandt. sind Energie) o. speichern die Energie auf molekularer bzw. atomarer "Ebene" in "Bindungen" zwischen Teilchen. Ist die Energiespeicherung amateriell, so werden aufgenommene "Stoffe" wie Nahrungsbestandteile direkt in Energie umgewandelt. Diese Energie ist für Lebensvorgänge notwendig. Wärme dient als Energiespeicher für Lebensvorgänge.

Tab. 4-30: Grundvorstellungen, die thematisch zum Vorstellungsgebäude B1-3 passen

| GV- Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | Kf-Wert | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | SI in % |
|------------|--|---------|-----------|------------|------------|-------------|---------|
| | | | 784 | 168 | 168 | 168 | 280 |
| 15. | Energie kann in Lebewesen gespeichert werden. | 14 | 79,7 | 60,7 | 76,8 | 82,1 | 91,4 |
| 2. | In Stoffen/Nahrung/Nahrungsbestandteilen ist Energie enthalten/gespeichert. | 14 | 77,9 | 67,3 | 72,6 | 79,8 | 86,4 |
| 5. | Energie ist etwas "Stoffliches". | 14 | 33,3 | 26,2 | 36,9 | 45,8 | 27,9 |
| 9. | Nahrung/Nahrungsbestandteile/Stoffe sind Energie. | 11 | 8,9 | 13,7 | 7,7 | 9,5 | 6,4 |
| 22. | ATP ist eine energiereiche Verbindung - in ATP ist Energie gespeichert. | 9 | 5,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 15,0 |
| 17. | Vitamine werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. | 8 | 11,2 | 20,2 | 16,1 | 10,7 | 3,2 |
| 12. | Nahrungsbestandteile/aufgenommene Stoffe/Lichtstrahlen werden direkt in Energie/Energiespeicher (ATP) umgewandelt. | 8 | 10,3 | 4,8 | 4,2 | 8,9 | 18,2 |
| 7. | Energie ist ein eigener - quasi zusätzlicher - Bestandteil von Stoffen/ Nahrung/ Strahlung. | 7 | 8,5 | 4,8 | 9,5 | 11,9 | 8,2 |
| 42. | Lebewesen brauchen Wärme zum Leben. | 6 | 14,3 | 14,9 | 14,3 | 16,1 | 12,9 |
| 45. | Wärme ist Energie. | 5 | 4,5 | 4,2 | 1,2 | 5,4 | 6,1 |
| 24. | Energie ist zwischen Atomen in Bindungen (chemisch) gespeichert. | 5 | 1,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 3,6 |
| 54. | Luft/Sauerstoff/Stickstoff/Kohlendioxid sind Energieträger/übertragen Energie zwischen Pflanzen, Tieren und Menschen. | 4 | 2,9 | 3,6 | 3,6 | 1,8 | 2,9 |
| 21. | Nahrungsbestandteile selbst sind für die Bildung von ATP (Energiespeicher) nötig. | 4 | 2,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 7,5 |
| 82. | Energie ist in Lebewesen dort/dort gespeichert, wo sie (zumeist) etwas "mit Sinnen Wahrnehmbares", etwas Offensichtliches vollbringen kann (hauptsächlich in bewegten u. bewegbaren Körperteilen: Gliedmaßen, deren Muskeln u. im Kopf) + Negation der Aussage. | 3 | 15,1 | 20,8 | 16,1 | 19,0 | 8,6 |
| 90. | Wasser ist Energie(speicher) für Lebewesen. | 3 | 12,9 | 17,9 | 17,3 | 13,1 | 7,1 |
| 28. | In Dingen/Nahrungsbestandteilen/Körperteilen steckt überall Energie. | 3 | 4,0 | 1,2 | 3,0 | 6,0 | 5,0 |
| 52. | Pflanzen nehmen Energie durch Wurzeln/aus dem Boden auf. | 2 | 23,2 | 26,2 | 25,0 | 29,2 | 16,8 |
| 41. | Pflanzen bekommen zum Wachstum Energie von der Sonne/Sonnenlicht. | 2 | 21,6 | 10,7 | 38,1 | 18,5 | 20,0 |
| 14. | Vitamine sind Energielieferanten für den Menschen. | 2 | 2,3 | 6,0 | 3,6 | 0,6 | 0,4 |
| 18. | Mineralstoffe/Spurenelemente werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. | 2 | 2,3 | 3,0 | 3,6 | 1,8 | 1,4 |
| 20. | Vitamine selbst sind Energie. | 2 | 1,4 | 3,0 | 0,6 | 1,8 | 0,7 |
| 32. | Solange Nahrung im Körper ist, hat ein Lebewesen Energie. | 2 | 0,9 | 0,0 | 2,4 | 0,6 | 0,7 |
| 73. | Im Boden/in Erde ist Energie. | 2 | 0,3 | 1,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 89. | Pflanzen nehmen Energie durch Wasser auf. | 1 | 12,2 | 17,3 | 16,7 | 13,1 | 6,1 |
| 76. | In bestimmten Lebewesen (z.B. Quallen) ist keine Energie. | 1 | 0,5 | 0,0 | 0,6 | 0,6 | 0,7 |
| 27. | Energie steckt in bestimmten Strukturen (Faltblattstruktur, Ringstruktur) der Materie. | 1 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 |
| 59. | Denken ist Energie. | 1 | 0,3 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 74. | Mineralstoffe sind Energie. | 1 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 1,2 | 0,0 |
| 80. | Es gibt verschieden gute Energiespeicher. | 1 | 0,3 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,4 |
| 86. | In Pflanzen ist keine Energie. | 1 | 0,3 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,4 |
| 88. | Pflanzen sind Energie. | 1 | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 0,0 | 0,0 |

Erläuterungen zur Tabelle 4-30:

Die naturwissenschaftlich korrekte Sichtweise, dass Energie in Lebewesen und in der Nahrung tierischer Lebewesen gespeichert wird, ist einem hohen Prozentsatz aller befragten Schüler bewusst (vgl. GV 15 und GV 2). Ausschließlich Oberstufenschüler haben auch die korrekte Vorstellung, dass in der Verbindung ATP Energie gespeichert ist (GV 22). Fehlvorstellungen treten jedoch hinsichtlich der Art und des Ortes (vgl. B1-1) der Energiespeicherung auf. Die im Vorstellungsgebäude A1-1 beschriebene stoffliche Natur der Energie tritt auch bei den Vorstellungen zu ihrer Speicherung wieder hervor. Nur wenige Schüler haben die richtige Vorstellung, dass in allen Nahrungsbestandteilen und Körperteilen Energie gespeichert ist (GV 28) und in Bezug auf Energie im biologischen Kontext insbesondere die chemische Bindungsenergie (GV 24) für den Energiestoffwechsel der Lebewesen von Relevanz ist. Auffallend ist, dass kein Sekundarstufen I - Schüler - und damit auch keiner der 168 befragten Jugendlichen aus der 10. Jahrgangsstufe - in seinen Antworten von der Grundvorstellung 24 "Energie ist zwischen Atomen in Bindungen (chemisch) gespeichert." Gebrauch macht. Erst in der Oberstufe tritt dieser Vorstellungsinhalt bei 3,6 Prozent der Schüler in ihren Antworten auf. Der Chemie- und Biologieunterricht in der Mittelstufe scheint sein Vermittlungsziel bezüglich der Energiespeicherung in organischen Verbindungen (vgl. Analyse der Richtlinien in Kap. 2.2.2, S. 38) kaum zu erreichen.

Die energiespeichernde Eigenschaft bestimmter Stoffe (insbesondere in Hinblick auf die Energieversorgung von Lebewesen, vgl. Themenbereich C) wird von den Befragten nur z.T. direkt in den Antworten genannt. Viele Vorstellungen können deshalb durch die getroffenen Aussagen (und deren Zusammenfassungen in Form von GV) nur erschlossen werden. Eine Ausnahme stellen hier die Daten aus dem Multiple-choice-Test des Fragebogens A dar (Erläuterungen Seite 174). Bezüglich der konkreten Energiespeicherung in bzw. für Lebewesen können folgende Aussagen getroffen werden: Neben den korrekten Stoffen Proteine, Kohlenhydrate und Fette werden für die Speicherung von Energie in Lebewesen von den Schülern v. a. Vitamine, Wasser und Spurenelemente/Mineralstoffe genannt. Von besonderer Bedeutung sind dabei in Hinblick auf Kontextflexibilität und Auftrittshäufigkeit die Grundvorstellungen zu den Stoffen "Vitamine" und "Wasser": Für den Stoff "Vitamine" ist von den drei thematisch passenden GV 14, GV 17 und GV 20 besonders die GV 17 "Vitamine werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht." mit einem Kf-Wert von 8 und einer Auftrittshäufigkeit von 11,2 Prozent besonders aussagekräftig. Gleiches gilt für den Stoff "Wasser" mit der GV 90 "Wasser ist Energie(speicher) für Lebewesen.". Diese GV 90 weist einen Kf-Wert von 3 und eine Auftrittshäufigkeit von 12,9 Prozent auf. Die GV 18 "Spurenelemente/Mineralstoffe werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht." und GV 74 "Mineralstoffe sind Energie." lassen wegen ihrer niedrigen Auftrittshäufigkeit von 2,3 und 0,3 Prozent und einer Kontextflexibilität von 2 und 1 die Mineralstoffe/Spurenelemente als weniger bedeutenden Energiespeicher erscheinen. Diese Einschätzung wird durch die Ergebnisse des Multiple-choice-Tests zur Frage "In welchen Bestandteilen der Nahrung steckt für unseren Körper nutzbare Energie?" allerdings so nicht getragen. Hier kreuzten 26 Prozent aller Schüler Mineralstoffe/Spurenelemente (als Energiespeicher) an. Wasser als Energiespeicher für den Menschen fassten dagegen nur 6,5 Prozent aller Probanden auf. Auch wenn diese Frage nicht auf die Energiespeicherung *in* Lebewesen fokussiert war, bleibt die Vermutung, dass Schüler in Hinblick auf die Energiespeicherung zwischen verschiedenen Lebewesen unterscheiden. So ist z.B. für Pflanzen Wasser ein wichtiger Energiespeicher: Pflanzen nehmen Energie durch Wasser auf (GV 89). Vitamine als Energielieferanten (Frage B9, KSA 37) werden in diesem Zusammenhang dagegen von den 784 Probanden insgesamt fünfmal genannt.

Hervorzuheben ist, dass Vitamine und Mineralstoffe/Spurenelemente für Schüler der 5. Klassen wichtigere Energiespeicher sind als Fette. Auch in der 10. Klasse liegen diese drei Energiespeicher

noch etwa auf dem gleichen Rang. Erst in der Oberstufe scheint den Schülern die stark energiespeichernde Eigenschaft von Fetten und die für Lebewesen nicht nutzbare Energie der Vitamine und Mineralstoffe/Spurenelemente bewusst zu werden. Diese Tendenzen werden durch die beiden Begleitstudien von EICKHOFF (1993) und BRIEST (1999) (vgl. Kap. 4.5.6.4, S. 202f) bestätigt.

Laut GV 54 werden von den Probanden auch Gase als Energiespeicher angesehen. Diese GV 54 ist zwar nur in insgesamt 2,9 Prozent aller Schülerantworten nachzuweisen, ein kontextflexibles Anwenden dieser Vorstellung ist jedoch in Hinblick auf den Kf-Wert von 4 gegeben.

Insgesamt fällt auf, dass viele Fehlvorstellungen bezüglich der materiellen Energiespeicherung in ihrer Auftrittshäufigkeit von der 5. Klasse bis hin zur Oberstufe deutlich abnehmen.

Neben der beschriebenen direkt an Materie, direkt an bestimmte Stoffe gebundenen Energiespeicherung deuten einige Grundvorstellungen auch auf eine "amaterielle" Speicherung hin. Wie im Vorstellungsgebäude B1-2 und A1-2 wird Energie in diesen Fällen zumeist als eine Eigenschaft von Lebewesen verstanden (z.B. GV 9, GV 12, GV 59).

Eine wichtige Rolle bei dieser nicht direkt an Materie gebundenen Speicherung nimmt die Wärme ein. Die Wärme der Lebewesen - an welchen Orten und in welcher Weise auch immer gespeichert - ist wichtig bzw. wird als Voraussetzung für Leben und Lebensvorgänge angesehen. Die kontextflexiblen GV 42 "Lebewesen brauchen Wärme zum Leben." (Kf-Wert 6) und GV 45 "Wärme ist Energie." (Kf-Wert 5) stützen deutlich diesen Teil des Vorstellungsgebäudes.

Die Ergebnisse aller neun Begleitstudien belegen die Existenz dieses Vorstellungsgebäudes.

B1- 4: Energie wird in Lebewesen an Materie gebunden transportiert.

Energie wird - zumeist materiell gespeichert (vgl. B1-3) - in Lebewesen transportiert (z.B. Blutkörperchen). Warme Stoffe (z.B. Blut) als Energiespeicher dienen ebenfalls als Transportmittel. In Pflanzen wird die Energie zum Leben (mit Wasser und den "Nährstoffen") durch die Wurzeln transportiert.

Erläuterungen zur Tabelle 4-31:

Energie kann im Körper von einem Ort zu einem anderen transportiert werden (GV 29). Diese kontextflexible Vorstellung (Kf-Wert 4) wird von 30 Prozent der Schüler in ihren Antworten benutzt. Die Unterschiede zwischen den Jahrgangstufen sind dabei gering.

Beim Transport ist die Energie nach Auffassung der Schüler an bestimmte Stoffe gebunden (z.B. Nährstoffe, Vitamine; vgl. Vorstellungsgebäude B1-3). Als Transportmedium wird in Bezug auf Mensch und Tier das Blut genannt (in Bezug auf Menschen Frage B6, KSA 2, 168 Nennungen). Auch Wärme (oft als Wärmeenergie bezeichnet) wird mit dieser Körperflüssigkeit transportiert.

Pflanzen transportieren in ihrem Körper Energie durch Wasser. Dieser Aspekt des Vorstellungsgebäudes wird besonders durch die GV 52 "Pflanzen nehmen ihre Energie durch die Wurzeln/aus dem Boden auf." (Kf-Wert 2) und GV 89 "Pflanzen nehmen Energie durch Wasser auf." (Kf-Wert 1) belegt. Beide Grundvorstellungen werden jeweils von gut 12 Prozent der befragten Schüler in ihren Antworten genutzt. Die niedrigen Kf-Werte relativieren sich, da sich nur 4 der insgesamt 20 verschiedenen Fragen auf Pflanzen beziehen. Die beiden GV 52 und GV 89 entwickeln sich bezüglich der Häufigkeit ihres Auftretens unterschiedlich: (weiter unter Tabelle 4-31)

Tab. 4-31: Grundvorstellungen, die thematisch zum Vorstellungsgebäude B1- 4 passen

| GV- Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | Kf-Wert | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | SII in % |
|------------|--|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | 784 | 168 | 168 | 168 | 280 |
| 15. | Energie kann in Lebewesen gespeichert werden. | 14 | 79,7 | 60,7 | 76,8 | 82,1 | 91,4 |
| 2. | In Stoffen/Nahrung/Nahrungsbestandteilen ist Energie enthalten/gespeichert. | 14 | 77,9 | 67,3 | 72,6 | 79,8 | 86,4 |
| 5. | Energie ist etwas "Stoffliches". | 14 | 33,3 | 26,2 | 36,9 | 45,8 | 27,9 |
| 9. | Nahrung/Nahrungsbestandteile/Stoffe sind Energie. | 11 | 8,9 | 13,7 | 7,7 | 9,5 | 6,4 |
| 45. | Wärme ist Energie. | 5 | 4,5 | 4,2 | 1,2 | 5,4 | 6,1 |
| 24. | Energie ist zwischen Atomen in Bindungen (chemisch) gespeichert. | 5 | 1,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 3,6 |
| 23. | Energie kann zwischen Stoffen/Dingen übertragen werden. | 5 | 1,0 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 2,5 |
| 29. | Energie kann im Körper (von A nach B) transportiert werden. | 4 | 30,2 | 32,7 | 38,1 | 25,0 | 27,1 |
| 90. | Wasser ist Energie(speicher) für Lebewesen. | 3 | 12,9 | 17,9 | 17,3 | 13,1 | 7,1 |
| 28. | In Dingen/Nahrungsbestandteilen/Körperteilen steckt überall Energie. | 3 | 4,0 | 1,2 | 3,0 | 6,0 | 5,0 |
| 52. | Pflanzen nehmen Energie durch Wurzeln/aus dem Boden auf. | 2 | 23,2 | 26,2 | 25,0 | 29,2 | 16,8 |
| 14. | Vitamine sind Energielieferanten für den Menschen. | 2 | 2,3 | 6,0 | 3,6 | 0,6 | 0,4 |
| 18. | Mineralstoffe/Spurenelemente werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. | 2 | 2,3 | 3,0 | 3,6 | 1,8 | 1,4 |
| 20. | Vitamine selbst sind Energie. | 2 | 1,4 | 3,0 | 0,6 | 1,8 | 0,7 |
| 73. | Im Boden/in Erde ist Energie. | 2 | 0,3 | 1,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 89. | Pflanzen nehmen Energie durch Wasser auf. | 1 | 12,2 | 17,3 | 16,7 | 13,1 | 6,1 |
| 27. | Energie steckt in bestimmten Strukturen (Faltblattstruktur, Ringstruktur) der Materie. | 1 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 |
| 74. | Mineralstoffe sind Energie. | 1 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 1,2 | 0,0 |
| 80. | Es gibt verschieden gute Energiespeicher. | 1 | 0,3 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,4 |

Bei GV 89 sinkt die Auftrittshäufigkeit von 17,3 Prozent bei den 5.-Klässlern kontinuierlich bis auf 6,1 Prozent bei den Oberstufenschülern. Die Auftrittshäufigkeit der GV 52 bleibt dagegen in der Sekundarstufe I relativ konstant und schwankt zwischen 25 und 29 Prozent. Erst bei Oberstufenschülern ist eine deutliche Abnahme auf 16,8 Prozent zu verzeichnen.

Die Ergebnisse von sechs Begleitstudien belegen die Existenz dieses Vorstellungsgebäudes.

B1-5: Energie wird in Lebewesen amateriell transportiert.

Energie wird mit dem Befehl zum Bewegen über die Nervenbahnen zu den Muskeln transportiert.

Erläuterungen zur Tabelle 4-32:

Keine der 91 Grundvorstellungen hat konkret den amateriellen Transport von Energie in Lebewesen zum Inhalt. Die in der Tabelle aufgelisteten Grundvorstellungen lassen lediglich die Annahme eines solchen Transports zu.

Belegt wird die Existenz eines solchen Vorstellungsgebäudes durch Ergebnisse der Begleitstudien zum "Stoffwechsel des Menschen" (BRIEST 1999; BULTEMEIER 1997). In der Studie von BULTEMEIER antworteten auf die Frage "Wie kommt die Energie aus der Nahrung z.B. in die Muskeln meines kleinen Zehs?" (vergleichbar mit der Frage B6 der vorliegenden Fragebogenstudie) 2 der 26 Schüler einer 10. Klasse eines städtischen Gymnasiums, dass die Energie vom Gehirn mit dem Bewegungsbefehl mitgeschickt werde. Die KSA 14 zur Frage B6 "Durch das Gehirn wird Energie

zu den Muskeln verteilt" könnte ebenfalls - trotz uneindeutiger Formulierung - in diesem Sinne interpretiert werden. Diese KSA wurde aufgrund einer Antwort eines 5.-Klässlers aufgestellt.

Tab. 4-32: Grundvorstellungen, die thematisch zum Vorstellungsgebäude B1- 5 passen

| GV- Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | Kf-Wert | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | SII in % |
|------------|--|---------|----------------------|------------|------------|-------------|----------|
| | | | Anzahl der Probanden | 784 | 168 | 168 | 168 |
| 45. | Wärme ist Energie. | 5 | 4,5 | 4,2 | 1,2 | 5,4 | 6,1 |
| 24. | Energie ist zwischen Atomen in Bindungen (chemisch) gespeichert. | 5 | 1,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 3,6 |
| 23. | Energie kann zwischen Stoffen/Dingen übertragen werden. | 5 | 1,0 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 2,5 |
| 29. | Energie kann im Körper (von A nach B) transportiert werden. | 4 | 30,2 | 32,7 | 38,1 | 25,0 | 27,1 |
| 82. | Energie ist in Lebewesen dort/dort gespeichert, wo sie (zumeist) etwas "mit Sinnen Wahrnehmbares", etwas Offensichtliches vollbringen kann (hauptsächlich in bewegten u. bewegbaren Körperteilen: Gliedmaßen, deren Muskeln u. im Kopf) + Negation der Aussage. | 3 | 15,1 | 20,8 | 16,1 | 19,0 | 8,6 |
| 28. | In Dingen/Nahrungsbestandteilen/Körperteilen steckt überall Energie. | 3 | 4,0 | 1,2 | 3,0 | 6,0 | 5,0 |
| 59. | Denken ist Energie. | 1 | 0,3 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Eine Bewertung dieses Vorstellungsgebäudes in Hinblick auf Kontextflexibilität und Auftrittshäufigkeit ist auf der Basis der vorliegenden Daten nicht möglich. Zusätzliche Befragungen wären hierzu nötig.

B2 Umwandlung von Energie

B2-1: In Lebewesen wird Energie umgewandelt und verbraucht.

Lebewesen verbrauchen ihre Energie teilweise oder vollständig für ihre Lebensvorgänge. Energie kann verbrannt oder direkt in etwas (z.B. Speicherstoffe wie Fett, in Bewegung oder Wärme) umgewandelt werden.

Die Menge der umgewandelten Energie hängt von den Verhaltensweisen des Lebewesens ab. Bei Phänomenen, die mit Bewegung verbunden sind, wird mehr Energie benötigt: Muskelbewegung benötigt mehr Energie als das Denken.

Erläuterungen zur Tabelle 4-33:

Weit verbreitet ist das Vorstellungsgebäude, dass Energie von Lebewesen umgewandelt und für die Lebensvorgänge verbraucht wird. Die diese Vorstellung zentral stützenden GV 3 "Energie wird für Lebensvorgänge verbraucht" und GV 91 "Energie kann hergestellt und verbraucht werden." weisen sowohl eine hohe bzw. sehr hohe Kontextflexibilität mit 11 bzw. 19 als auch eine hohe Auftrittshäufigkeit in allen Jahrgängen auf. Bei Schülern der 10. Jahrgänge und Oberstufenschülern zeigen sich dabei mit Werten zwischen 64 und 77 Prozent die höchsten Auftrittshäufigkeiten für diese GVs. Die naturwissenschaftlich richtige Sichtweise, dass Energie weder erzeugt noch vernichtet werden kann (1. Hauptsatz der Thermodynamik, vgl. Kap. 2.1.2.2, S. 16), drückt sich z.T. in der GV 26 "Energie geht nie verloren." aus. Diese Grundvorstellung tritt jedoch erst ab der 8. Jahrgangstufe in 2,4 Prozent der Schülerantworten auf. Dieser Anteil steigert sich bis zu den Oberstufenschülern auf 5 Prozent, was im Vergleich zu den Grundvorstellungen mit dem entgegengesetzten Inhalt ein sehr niedriger Wert ist.

Der Verbrauch von Energie in Lebewesen wird durch drei Grundvorstellungen spezifiziert: Energie kann einem Stoff gleich verbrannt werden (GV6), (der Stoff) Energie kann direkt in etwas umgewandelt werden, z. B. in Muskeln oder Speicherstoff Fett (GV 30), oder Energie wird direkt zu Kraft (GV 81). Die beiden ersteren Grundvorstellungen weisen eine hohe Kontextflexibilität (12 bzw. 8) und eine durchschnittliche Auftrittshäufigkeit von 9,7 bzw. 17,2 Prozent auf. Auffallend ist, dass die Fehlvorstellung "Energie wird verbrannt." (GV 6) von 3,6 auf 15,5 Prozent während der Sekundarstufe I zunimmt. Erst in der Oberstufe verringert sich die Auftrittshäufigkeit wieder auf 7,5 Prozent.

Tab. 4-33: Grundvorstellungen, die thematisch zum Vorstellungsgebäude B2-1 passen

| GV- Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | Kf-Wert | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | SII in % |
|------------|---|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | 784 | 168 | 168 | 168 | 280 |
| 91. | Energie kann hergestellt und verbraucht werden. | 19 | 65,1 | 36,3 | 61,3 | 76,2 | 77,9 |
| 10. | Energie kann umgewandelt werden (z.B. von einer Form in eine andere Form) - es gibt verschiedene Energieformen. | 18 | 37,2 | 12,5 | 33,3 | 44,6 | 50,0 |
| 6. | Energie wird verbrannt. | 12 | 9,7 | 3,6 | 13,7 | 15,5 | 7,5 |
| 3. | Energie wird für Lebensvorgänge verbraucht. | 11 | 53,6 | 30,4 | 47,0 | 65,5 | 64,3 |
| 25. | Energie wird im/am Körper (durch Reaktionen/Abläufe) freigesetzt. | 9 | 7,5 | 0,6 | 10,7 | 3,0 | 12,5 |
| 30. | Energie kann direkt in "etwas" umgewandelt werden. | 8 | 17,2 | 10,7 | 14,9 | 19,0 | 21,4 |
| 11. | Nicht jede Energieform kann von Lebewesen (gleich gut) genutzt werden (brauchbare - unbrauchbare Energie). | 7 | 3,7 | 1,2 | 2,4 | 4,2 | 5,7 |
| 26. | Energie geht nie verloren. | 7 | 3,1 | 0,0 | 2,4 | 3,6 | 5,0 |
| 60. | Chemische Reaktionen/Vorgänge im Körper (Verdauung) benötigen zum Ablaufen Energie. | 5 | 1,9 | 0,6 | 1,2 | 3,0 | 2,5 |
| 57. | Bewegung/Muskelbewegung braucht (viel) Energie - Abläufe beim Denken brauchen jedoch wenig Energie. | 2 | 3,7 | 3,6 | 4,8 | 3,0 | 3,6 |
| 83. | Der Magen-Darm-Bereich ist Umwandlungsstelle/Umleitungsstelle für Energie. | 2 | 1,9 | 6,0 | 1,2 | 0,0 | 1,1 |
| 56. | Mensch braucht für geistige Tätigkeit keine Energie - bei Ruhe/bei Bewegungslosigkeit wird keine Energie benötigt. | 2 | 1,5 | 1,8 | 1,2 | 1,2 | 1,8 |
| 71. | Bei Verwesung geht Energie in die Erde. | 1 | 0,4 | 0,0 | 1,2 | 0,6 | 0,0 |
| 81. | Energie wird zu Kraft. | 1 | 0,4 | 0,0 | 0,6 | 1,2 | 0,0 |
| 62. | Große Lebewesen brauchen zum Leben mehr Energie als kleine Lebewesen. | 1 | 0,3 | 0,0 | 1,2 | 0,0 | 0,0 |

In allen Jahrgangsstufen ist die Vorstellung, dass die Menge der umgewandelten Energie vom Zweck der Umwandlung abhängt, mit einer Auftrittshäufigkeit um knapp 4 Prozent anzutreffen: Für Vorgänge, die im Zusammenhang mit Bewegung stehen, benötigen Lebewesen mehr Energie als für Vorgänge, bei denen keine Bewegung zu beobachten ist, wie z.B. bei geistigen Tätigkeiten (GV 57).

Bei der Umwandlung von Energie im Menschen (bei tierischen Organismen) hat der Magen-Darm-Raum eine zentrale Stelle. Hier wird für 1,9 Prozent aller Probanden und 6 Prozent aller 5.-Klässler die Energie umgewandelt bzw. zu den Orten des "Verbrauchs" umgeleitet. Dabei kann nicht jede Form, in der Energie gespeichert ist, nicht jedes Nahrungsmittel verwertet bzw. gleich gut verwertet werden (GV 11). Für den Körper nicht brauchbare Energie kann wieder ausgeschieden werden.

Die Ergebnisse von acht der neun Begleitstudien belegen die Existenz dieses Vorstellungsgebäudes.

B2-2: Lebewesen erzeugen Wärme - besonders durch "Verbrennung von Stoffen" und Bewegungsvorgänge (Reibung).

Bei Energieumwandlungsprozessen entsteht in Lebewesen Wärme. Diese Wärme entsteht durch das Verbrennen von Stoffen (z.B. Nahrung), durch Bewegung, durch Reibung (z.B. Blut reibt in Adern, Muskeln reiben an Knochen) und allgemein bei unvollständigen Umwandlungsprozessen. Wärme ist für Organismen lebensnotwendig.

Die Geschwindigkeit der Energieumwandlung wird durch Wärme beeinflusst.

Tab. 4-34: Grundvorstellungen, die thematisch zum Vorstellungsbäude B2-2 passen

| GV- Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | Kf-Wert | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | SII in % |
|------------|---|-----------|------------|------------|-------------|-------------|------------|
| | | | 784 | 168 | 168 | 168 | 280 |
| 6. | Energie wird verbrannt. | 12 | 9,7 | 3,6 | 13,7 | 15,5 | 7,5 |
| 43. | Durch Lebensvorgänge/Reaktionen/Stoffwechselfvorgänge/Prozesse in Lebewesen entsteht Wärme, die abgegeben wird. | 7 | 62,2 | 32,1 | 68,5 | 67,9 | 73,2 |
| 33. | Energieumwandlung/Energieverbrauch/Energieherstellung erzeugt Wärme. | 7 | 7,9 | 1,2 | 5,4 | 4,8 | 15,4 |
| 42. | Lebewesen brauchen Wärme zum Leben. | 6 | 14,3 | 14,9 | 14,3 | 16,1 | 12,9 |
| 8. | Durch Verbrennung von Nahrung/Nahrungsbestandteilen/Mineralstoffen entsteht Energie. | 6 | 6,4 | 0,6 | 10,1 | 9,5 | 5,7 |
| 53. | Energieumwandlung ist unvollständig - Wärme wird frei. | 6 | 3,8 | 0,0 | 1,8 | 1,2 | 8,9 |
| 35. | Durch "Verbrennung" in Lebewesen entsteht Wärme. | 5 | 19,0 | 4,8 | 23,8 | 29,2 | 18,6 |
| 34. | Wärme/Wärmeenergie beschleunigt/erleichtert Reaktionen (z.B. Stoffwechselreaktionen). | 5 | 8,7 | 2,4 | 10,7 | 7,7 | 11,8 |
| 45. | Wärme ist Energie. | 5 | 4,5 | 4,2 | 1,2 | 5,4 | 6,1 |
| 55. | Durch Reibung entsteht im Lebewesen Wärme. | 5 | 4,2 | 1,8 | 4,2 | 1,2 | 7,5 |
| 75. | Durch Bewegung entsteht Wärme. | 4 | 24,4 | 27,4 | 33,3 | 29,2 | 14,3 |
| 18. | Mineralstoffe/Spurenelemente werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. | 2 | 2,3 | 3,0 | 3,6 | 1,8 | 1,4 |
| 47. | Alle Energie endet in/wird zu Wärme. | 2 | 1,4 | 0,0 | 2,4 | 0,6 | 2,1 |
| 77. | Wärme stammt aus Energie. | 2 | 1,1 | 0,0 | 2,4 | 0,0 | 1,8 |
| 63. | Hitze verlangsamt Stoffwechselfvorgänge. | 2 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 1,8 | 0,7 |
| 69. | Man braucht Wärme zum Verwesen. | 1 | 1,5 | 1,2 | 2,4 | 2,4 | 0,7 |
| 78. | Bei Aufspaltung von Nahrung entsteht Wärme. | 1 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 |

Erläuterungen zur Tabelle 4-34:

"Energieumwandlung bei Lebensvorgängen erzeugt Wärme." ist ein weit verbreitetes Vorstellungsbäude. Die hierbei zentrale GV 43 tritt bei insgesamt 62 Prozent der Schüler in ihren Antworten auf und weist mit einem Kf-Wert von 7 eine hohe Kontextflexibilität auf. Dass diese Wärme von Lebewesen zum Leben gebraucht wird, ist den Schülern ebenfalls bewusst. Die GV 42 "Lebewesen brauchen Wärme zum Leben." besitzt ebenfalls eine hohe Kontextflexibilität von 6. Die Auftrittshäufigkeit liegt jedoch mit durchschnittlich 14 Prozent bei allen Schülern deutlich niedriger. Besonders ab der 8. Klasse ist den Schülern auch bekannt, warum Lebewesen auf Wärme angewiesen sind: Wärme bzw. Wärmeenergie beschleunigt Abläufe und chemische Reaktionen oder macht diese erst möglich (GV 34). Die GV 34 weist gleichfalls eine hohe Kontextflexibilität von 5 und eine maximale Auftrittshäufigkeit von 11,8 Prozent bei den Oberstufenschülern auf. Da bei 5.-Klässlern diese Grundvorstellung nur in 2,7 Prozent der Antworten auftritt, lässt sich aufgrund des eher naturwissenschaftlich ausgerichteten Inhalts dieser Grundvorstellung vermuten, dass der Zuwachs von über 9 Prozent durch den entsprechenden Fachunterricht bewirkt wurde.

Neben diesen aus fachwissenschaftlicher Sicht richtigen Vorstellungen bestehen in Hinblick auf die Entstehung von Wärme in Lebewesen auch Fehlvorstellungen:

Eine Fehlvorstellung besteht darin, dass durch die Verbrennung von Energie bzw. von Nahrungsbestandteilen (u.ä.) Wärme entstehen soll. Diese unter 9,7 Prozent aller Schüler verbreitete Vorstellung wird durch die GV 6 "Energie wird verbrannt.", GV 8 "Durch Verbrennung von Nahrung/Nahrungsbestandteilen/Mineralstoffen entsteht Energie." und GV 35 "Durch "Verbrennung" in Lebewesen entsteht Wärme." gestützt. Alle drei Grundvorstellungen weisen eine hohe Kontextflexibilität zwischen 5 und 12 auf. Die Auftrittshäufigkeit nimmt im Verlauf der Sekundarstufe I zu und nimmt bei den Oberstufenschülern wieder ab. Nur 1,1 Prozent der Probanden sind der Auffassung, dass Wärme direkt aus Energie hergestellt wird. Die diesbezügliche GV 77 hat dennoch einen Kf-Wert von 2.

Eine andere Fehlvorstellung besteht darin, dass einige Schüler die Reibung (bei Bewegungsvorgängen) als die wesentliche Ursache zur Wärmeproduktion in Lebewesen ansehen. Die kontextflexibel angewandte GV 55 "Durch Reibung entsteht in Lebewesen Wärme." hat einen Kf-Wert von 5 und wird durchschnittlich von 4,2 Prozent aller Schüler und von 7,5 Prozent aller Oberstufenschüler in ihren Antworten benutzt. Dieser relativ hohe Wert bei den Oberstufenschülern überrascht, weil gleichzeitig die fachwissenschaftlich korrekte GV 53 "Energieumwandlung ist unvollständig - Wärme wird frei." mit einem Kf-Wert von 6 fast ausschließlich von Oberstufenschülern (8,9 Prozent) benutzt wird. Diese Ergebnis kann theoretisch als bestätigendes Indiz für die in Kapitel 1 formulierte Beobachtung gelten, dass von Schülern das Schulwissen additiv zu dem zuvor bestehendem Alltagswissen aufgenommen wird. Da jedoch innerhalb der Fragebogenstudie tatsächlich nur 4 Schüler diese beiden Grundvorstellungen in ihrem persönlichen GV-Profil vereinigen, ist diese Bestätigung durch Daten nur schwach belegt.

Die Ergebnisse von sieben Begleitstudien belegen die Existenz dieses Vorstellungsgebäudes.

B2-3: Energie wird dort umgewandelt, wo auch Energie gespeichert ist bzw. wo das mit Sinnen wahrnehmbare " Folgeprodukt " der Energie (z.B. Bewegung, Wärme) gebraucht wird.

Der Magen-Darm-Raum ist im Menschen die Umwandelstelle für Energie.

Tab. 4-35: Grundvorstellungen, die thematisch zum Vorstellungsgebäude B2- 3 passen

| GV- Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | Kf-Wert | Anzahl der Probanden | | | | |
|------------|---|---------|----------------------|------------|------------|-------------|----------|
| | | | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | SII in % |
| | | | 784 | 168 | 168 | 168 | 280 |
| 25. | Energie wird im/am Körper (durch Reaktionen/Abläufe) freigesetzt. | 9 | 7,5 | 0,6 | 10,7 | 3,0 | 12,5 |
| 60. | Chemische Reaktionen/Vorgänge im Körper (Verdauung) benötigen zum Ablaufen Energie. | 5 | 1,9 | 0,6 | 1,2 | 3,0 | 2,5 |
| 82. | Energie ist in Lebewesen dort/dort gespeichert, wo sie (zumeist) etwas "mit Sinnen Wahrnehmbares", etwas Offensichtliches vollbringen kann (hauptsächlich in bewegten u. bewegbaren Körperteilen: Gliedmaßen, deren Muskeln u. im Kopf) + Negation der Aussage. | 3 | 15,1 | 20,8 | 16,1 | 19,0 | 8,6 |
| 83. | Der Magen-Darm-Bereich ist Umwandelstelle/Umleitstelle für Energie. | 2 | 1,9 | 6,0 | 1,2 | 0,0 | 1,1 |
| 84. | Sonnenstrahlen können in Energie umgewandelt werden. | 2 | 1,0 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 2,5 |
| 79. | Bestimmte Vorgänge/Prozesse (z.B. Photosynthese) in Lebewesen erzeugen Energie. | 2 | 0,6 | 0,0 | 1,2 | 0,0 | 1,1 |
| 58. | Bestimmte Stellen/Prozesse in Lebewesen benötigen viel Energie. | 1 | 0,5 | 0,0 | 1,2 | 1,2 | 0,0 |

Erläuterungen zur Tabelle 4-35:

Nur wenige konkrete Aussagen über die Orte, an denen Energie umgewandelt wird, lassen sich aufgrund der 91 formulierten Grundvorstellungen ableiten. Als Orte zur Energieumwandlung werden bezogen auf den Menschen der Magen-Darm-Bereich (GV 83 und z.T. GV 60) und bezogen auf die Pflanzen die Blätter als Hauptorte der Photosynthese genannt (GV 79). Aus der GV 58 "Bestimmte Stellen/Prozesse in Lebewesen benötigen viel Energie." und der GV 82 "Energie ist in Lebewesen dort, wo sie etwas mit den Sinnen Wahrnehmbares vollbringt." und den KSA der Fragen A4 und B6 werden des weiteren vor allem die Muskeln bzw. Muskelzellen als Orte der Energieumwandlung gekennzeichnet. Die Kontextflexibilität der angesprochenen Grundvorstellungen lässt die Aufstellung eines eigenen Vorstellungsgebäudes zu. Die niedrigen Werte bezüglich der Auftrittshäufigkeit sind dadurch zu erklären, dass die meisten Schüler in ihren Antworten keine konkreten Angaben über die Orte und/oder über die Strukturen der Energieumwandlung gemacht haben. Auch die Begleitstudien brachten hier keine detaillierteren Erkenntnisse.

Die Ergebnisse von sechs Begleitstudien belegen die Existenz dieses Vorstellungsgebäudes.

C Aufnahme und Abgabe von Energie bei Organismen**C-1: Lebewesen nehmen die für ihre Lebensvorgänge nötige Energie (ausschließlich) mit Wärme auf.**

Sonne spendet Lebewesen Energie in Form von Wärme.

Wärme ist die für Lebewesen universelle "Energiewährung".

Tab. 4-36: Grundvorstellungen, die thematisch zum Vorstellungsgebäude C-1 passen

| GV- Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | Kf-Wert | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | SII in % |
|------------|--|---------|-----------|------------|------------|-------------|----------|
| | | | 784 | 168 | 168 | 168 | 280 |
| 42. | Lebewesen brauchen Wärme zum Leben. | 6 | 14,3 | 14,9 | 14,3 | 16,1 | 12,9 |
| 45. | Wärme ist Energie. | 5 | 4,5 | 4,2 | 1,2 | 5,4 | 6,1 |
| 48. | Lebewesen nehmen Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge in Form von Wärme auf. | 4 | 12,0 | 4,2 | 8,3 | 12,5 | 18,6 |
| 65. | Lebewesen (allgemein) nehmen Energie direkt von der Sonne auf. | 3 | 1,3 | 0,0 | 0,6 | 4,8 | 0,4 |
| 44. | Sonne ist Wärmespender (spendet Energie nicht in Form von Licht oder kurzwelliger Strahlung), Sonne spendet Energie nur in Form von Wärme. | 2 | 10,6 | 11,9 | 10,1 | 13,7 | 8,2 |
| 46. | Pflanzen nehmen (für ihre Lebensvorgänge) Energie in Form von Wärme auf. | 2 | 2,7 | 3,0 | 1,8 | 1,2 | 3,9 |
| 36. | Tiere nehmen Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge (z.B. Bewegung) direkt von der Sonne auf. | 1 | 2,4 | 0,6 | 4,2 | 4,2 | 1,4 |

Erläuterungen zur Tabelle 4-36:

Wärme wird von vielen Schülern als quasi universelle Energiewährung angesehen. Innerhalb der Organismen sowie zwischen Umwelt und Organismus wird Energie in Form von Wärme ausgetauscht.

Mit zunehmender Häufigkeit - 4,2 Prozent bei den 5.-Klässlern und 18,6 Prozent bei den Oberstufenschülern - findet sich in den Antworten die Vorstellung der GV 48 "Lebewesen nehmen Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge in Form von Wärme auf." Diese kontextflexibel

eingesetzte Vorstellung (Kf-Wert 4) korrespondiert mit der GV 44 "Sonne ist Wärmespendender (spendet Energie nicht in Form von Licht oder kurzwelliger Strahlung), Sonne spendet Energie nur in Form von Wärme.". Diese Grundvorstellung besitzt einen Kf-Wert von 2. Auffallend ist, dass die Auftrittshäufigkeit der GV 44 während der Sekundarstufe I fast unverändert zwischen 10,1 und 13,7 Prozent pendelt und dann bei den Schülern der Sekundarstufe II im Gegensatz zur Entwicklung der Auftrittshäufigkeit der GV 48 auf 8,2 Prozent absinkt. Eine Begründung für diesen gegensätzlichen Trend ist nicht erkennbar. Die GV 36 "Tiere nehmen Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge (z.B. Bewegung) direkt von der Sonne auf." und die GV 65 "Lebewesen (allgemein) nehmen Energie direkt von der Sonne auf." können die gemachten Aussagen stützen. Unklar ist hier jedoch, in welcher Form die Sonne den Lebewesen bzw. speziell den Tieren die Energie gibt.

Während die GV 48 aufgrund ihres Anwendungsgebietes hauptsächlich auf tierische Lebewesen bezogen ist, wird durch die GV 46 "Pflanzen nehmen (für ihre Lebensvorgänge) Energie in Form von Wärme auf." deutlich, dass nach der Vorstellung einiger Schüler auch die Pflanzen ihre Energie ausschließlich in Form von Wärme aufnehmen. Mit einem Kf-Wert von 2 und einer durchschnittlichen Auftrittshäufigkeit von 2,7 Prozent ist diese Vorstellung jedoch weniger in den analysierten Antworten aufgetreten. Auffallend ist auch hier wieder das Ergebnis der Schüler der Sekundarstufe II. Obwohl die meisten Schüler - laut Richtlinien (vgl. Kap. 2.2.2, S. 38) - das Thema Photosynthese bei Wahl eines Biologiekurses in der Oberstufe mindestens zweimal im Unterricht thematisiert haben dürften, ist ihre Auftrittshäufigkeit in Bezug auf die sachlich falsche GV 46 mit 3,9 Prozent am höchsten. Eine intensivere Behandlung des Themas "Energiefluss bei der Photosynthese" führt offensichtlich nicht zu einem korrekteren Vorstellungsgebäude.

Die Ergebnisse von sieben Begleitstudien belegen die Existenz dieses Vorstellungsgebäudes.

C-2: Tierische Lebewesen/Menschen nehmen die für ihre Lebensvorgänge nötige Energie an Materie gebunden durch Nahrung (Vitamine und Mineralstoffe/Spurenelemente), Gase und Wasser auf.

Gemüse und Obst sind gesunde Nahrungsmittel, weil sie durch die enthaltenen Mineralstoffe und Vitamine Organismen mit lebensnotwendiger Energie versorgen.

Erläuterungen zur Tabelle 4-37:

Der Hauptaspekt dieses Vorstellungsgebäudes "Nahrung ist für tierische Organismen Energielieferant." ist fachwissenschaftlich richtig und durch die GV 2 "In Stoffen/Nahrung/Nahrungsbestandteilen ist Energie enthalten/gespeichert." mit ihrem hohen Kf-Wert von 14 und der hohen Auftrittshäufigkeit zwischen 67 und 86 Prozent in allen Jahrgangstufen als weit verbreitet abgesichert. Fehlvorstellungen liegen jedoch bezüglich der einzelnen Inhaltsstoffe vor, die z.T. zu Unrecht als Energiespeicher angesehen werden. Die diesbezüglichen Vorstellungen zur Rolle der Vitamine, Mineralstoffe/Spurenelemente und des Wassers sind in den beiden Vorstellungsgebäuden A1-1 "Energie ist etwas "Stoffliches." und B1-1 "Energie ist in Biomasse an bestimmten Orten." bereits erläutert worden.

Neu ist in diesem Vorstellungsgebäude der Aspekt, dass Tiere und Menschen auch durch Gase für sie verwertbare Energie aufnehmen können. Die GV 54 "Luft/Sauerstoff/Stickstoff/Kohlendioxid sind Energieträger/übertragen Energie zwischen Pflanzen, Tieren und Menschen." trägt diese Vorstellung. Mit einem Kf-Wert von 4 und einer durchschnittlichen Auftrittshäufigkeit von 2,9 Prozent gilt dieser Inhalt des Vorstellungsgebäudes ebenfalls als gesichert.

Tab. 4-37: Grundvorstellungen, die thematisch zum Vorstellungsgebäude C-2 passen

| GV- Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | Kf-Wert | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | SII in % |
|------------|--|---------|----------------------|------------|------------|-------------|----------|
| | | | Anzahl der Probanden | | | | |
| | | | 784 | 168 | 168 | 168 | 280 |
| 2. | In Stoffen/Nahrung/Nahrungsbestandteilen ist Energie enthalten/gespeichert. | 14 | 77,9 | 67,3 | 72,6 | 79,8 | 86,4 |
| 9. | Nahrung/Nahrungsbestandteile/Stoffe sind Energie. | 11 | 8,9 | 13,7 | 7,7 | 9,5 | 6,4 |
| 22. | ATP ist eine energiereiche Verbindung - in ATP ist Energie gespeichert. | 9 | 5,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 15,0 |
| 17. | Vitamine werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. | 8 | 11,2 | 20,2 | 16,1 | 10,7 | 3,2 |
| 7. | Energie ist ein eigener - quasi zusätzlicher - Bestandteil von Stoffen/Nahrung/Strahlung. | 7 | 8,5 | 4,8 | 9,5 | 11,9 | 8,2 |
| 11. | Nicht jede Energieform kann von Lebewesen (gleich gut) genutzt werden (brauchbare - unbrauchbare Energie). | 7 | 3,7 | 1,2 | 2,4 | 4,2 | 5,7 |
| 54. | Luft/Sauerstoff/Stickstoff/Kohlendioxid sind Energieträger/übertragen Energie zwischen Pflanzen, Tieren und Menschen. | 4 | 2,9 | 3,6 | 3,6 | 1,8 | 2,9 |
| 90. | Wasser ist Energie(speicher) für Lebewesen. | 3 | 12,9 | 17,9 | 17,3 | 13,1 | 7,1 |
| 28. | In Dingen/Nahrungsbestandteilen/Körperteilen steckt überall Energie. | 3 | 4,0 | 1,2 | 3,0 | 6,0 | 5,0 |
| 14. | Vitamine sind Energielieferanten für den Menschen. | 2 | 2,3 | 6,0 | 3,6 | 0,6 | 0,4 |
| 18. | Mineralstoffe/Spurenelemente werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. | 2 | 2,3 | 3,0 | 3,6 | 1,8 | 1,4 |
| 20. | Vitamine selbst sind Energie. | 2 | 1,4 | 3,0 | 0,6 | 1,8 | 0,7 |
| 27. | Energie steckt in bestimmten Strukturen (Faltblattstruktur, Ringstruktur) der Materie. | 1 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 |
| 74. | Mineralstoffe sind Energie. | 1 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 1,2 | 0,0 |
| 80. | Es gibt verschieden gute Energiespeicher. | 1 | 0,3 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,4 |
| 88. | Pflanzen sind Energie. | 1 | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 0,0 | 0,0 |

Die Ergebnisse von sechs Begleitstudien - und damit aller Studien, die diesen Aspekt durch ihre Aufgaben abdecken - belegen die Existenz dieses Vorstellungsgebäudes.

C-3: Tierische Lebewesen/Menschen nehmen die für ihre Lebensvorgänge nötige Energie (durch Licht) direkt von der Sonne auf.
Die Sonne ist direkter Energiespender für alle Organismen.

Tab. 4-38: Grundvorstellungen, die thematisch zum Vorstellungsgebäude C-3 passen

| GV- Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | Kf-Wert | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | SII in % |
|------------|---|---------|----------------------|------------|------------|-------------|----------|
| | | | Anzahl der Probanden | | | | |
| | | | 784 | 168 | 168 | 168 | 280 |
| 65. | Lebewesen (allgemein) nehmen Energie direkt von der Sonne auf. | 3 | 1,3 | 0,0 | 0,6 | 4,8 | 0,4 |
| 38. | Sonne ist Energiespender für das Leben auf der Erde. | 2 | 5,6 | 4,2 | 6,5 | 5,4 | 6,1 |
| 85. | Tierische Lebewesen bekommen Energie für Lebensvorgänge durch Licht. | 1 | 3,8 | 0,6 | 3,6 | 2,4 | 6,8 |
| 36. | Tiere nehmen Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge (z.B. Bewegung) direkt von der Sonne auf. | 1 | 2,4 | 0,6 | 4,2 | 4,2 | 1,4 |

Erläuterungen zur Tabelle 4-38:

Die naturwissenschaftlich richtige GV 38 "Sonne ist Energiespender für das Leben auf der Erde." wird von einigen Schülern fälschlicherweise in Hinblick auf *die* Energiequelle für Lebensprozesse uneingeschränkt auch auf Tiere und Menschen angewandt. Die beiden GV 36 "Tiere nehmen Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge (z.B. Bewegung) direkt von der Sonne auf." und GV 85 "Tierische Lebewesen bekommen Energie für Lebensvorgänge durch Licht." belegen dieses Vorstellungsgebäude. Zwar sind beide Grundvorstellungen im Rahmen dieser Untersuchung nicht kontextflexibel, jeweils nur in einer Fragestellung aufgetreten. Dennoch weisen ihre maximalen Auftrittshäufigkeiten von 4,2 bzw. 6,8 Prozent die Bedeutsamkeit dieser Vorstellungsinhalte aus.

Die Ergebnisse von vier Begleitstudien - und damit aller Studien, die diesen Aspekt durch ihre Aufgaben abdecken - belegen die Existenz dieses Vorstellungsgebäudes.

C-4: Pflanzen nehmen die für ihre Lebensvorgänge nötige Energie wie tierische Organismen an Materie gebunden (aus dem Boden (u.a. mit Wasser, Nährstoffen, Vitaminen) oder durch Gase in der Luft) auf.

Pflanzen nehmen mit ihren Wurzeln Wasser aus dem Boden und damit Energie auf. Wasser ist für Lebewesen ein Energielieferant. Pflanzen nehmen die Energie zum Leben aus der Luft bzw. speziell genannten Gasen auf. Pflanzen erhalten ihre Energie zum Leben aus dem Sonnenlicht.

Tab. 4-39: Grundvorstellungen, die thematisch zum Vorstellungsgebäude C-4 passen

| GV- Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | Kf-Wert | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | SII in % |
|------------|---|---------|-----------|------------|------------|-------------|----------|
| | | | 784 | 168 | 168 | 168 | 280 |
| 54. | Luft/Sauerstoff/Stickstoff/Kohlendioxid sind Energieträger/übertragen Energie zwischen Pflanzen, Tieren und Menschen. | 4 | 2,9 | 3,6 | 3,6 | 1,8 | 2,9 |
| 90. | Wasser ist Energie(speicher) für Lebewesen. | 3 | 12,9 | 17,9 | 17,3 | 13,1 | 7,1 |
| 52. | Pflanzen nehmen Energie durch Wurzeln/aus dem Boden auf. | 2 | 23,2 | 26,2 | 25,0 | 29,2 | 16,8 |
| 41. | Pflanzen bekommen zum Wachstum Energie von der Sonne/Sonnenlicht. | 2 | 21,6 | 10,7 | 38,1 | 18,5 | 20,0 |
| 73. | Im Boden/in Erde ist Energie. | 2 | 0,3 | 1,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 89. | Pflanzen nehmen Energie durch Wasser auf. | 1 | 12,2 | 17,3 | 16,7 | 13,1 | 6,1 |
| 74. | Mineralstoffe sind Energie. | 1 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 1,2 | 0,0 |

Erläuterungen zur Tabelle 4-39:

Die Vorstellungen zur Energieversorgung von Pflanzen sind durch vier Schwerpunkte gekennzeichnet. Der erste Schwerpunkt bezieht sich auf den naturwissenschaftlich richtigen Weg über die Strahlungsenergie der Sonne: Ein Teil des Lichtspektrums ist die einzige Energiequelle für Pflanzen; abgesehen von der Aktivierungsenergie, die über Wärme zugeführt wird. Diese korrekte Vorstellung wird - wenn auch nicht unbedingt inhaltlich vollständig - durch 21,6 Prozent der Schüler durch die angewandte GV 41 gestützt. Interessant ist, dass die 8.-Klässler mit 38,1 Prozent diese GV häufiger anwenden als die Oberstufenschüler mit nur 20 Prozent. Bemerkenswert erscheint aus fachwissenschaftlicher Sicht in diesem Zusammenhang die Vorstellung, dass die Pflanzen

durch das Sonnenlicht Vitamine und damit Energie aufnehmen (vgl. Begleitstudie KAUPMANN 1998).

Der zweite Schwerpunkt zur Energieversorgung der Pflanzen bezieht sich auf die Wärme. Wie im Vorstellungsgebäude C1 erläutert, nehmen einige Schüler an, dass auch Pflanzen die für ihre Lebensvorgänge nötige Energie (ausschließlich) in Form von Wärme aufnehmen.

Der dritte Schwerpunkt beinhaltet die weit verbreitete Vorstellung, dass Pflanzen ihre Energie zum Leben mit ihren Wurzeln aus dem Boden aufnehmen. Die diese Aussage stützende GV 52 besitzt eine hohe Auftrittshäufigkeit. Sie liegt in der Sekundarstufe I zwischen 25 und 29, 2 Prozent und in der Sekundarstufe II bei 16,8 Prozent. Der niedrige Kf-Wert von 2 erklärt sich durch die geringe Anzahl von nur 4 Fragen, die sich in der Fragebogenstudie auf pflanzliche Organismen beziehen. Als Energieträger werden von den Schülern dabei allgemein Nährstoffe, Vitamine und Wasser angegeben.

Der vierte Schwerpunkt bezieht sich auf die Energieversorgung durch die Luft. Die GV 54 weist eine Kontextflexibilität von 4 und eine durchschnittlich Auftrittshäufigkeit von 2,9 Prozent auf. In der Begleitstudie zu energetischen Aspekten der Photosynthese lag die diesbezügliche Auftrittshäufigkeit dieser Vorstellung deutlich höher. Von den 143 befragten Gymnasiasten der Sekundarstufe I wurde je nach Jahrgangstufe eine Auftrittshäufigkeit zwischen 10 und 17 Prozent ermittelt (SCHMIDT 1993).

Die Ergebnisse von acht Begleitstudien - und damit allen Studien, die diesen Aspekt durch ihre Aufgaben abdecken - belegen die Existenz dieses Vorstellungsgebäudes.

C-5: Energie wird von Lebewesen durch Wärme und Stoffe (z.B. Urin) abgegeben.

Ein Teil der aufgenommenen (und überflüssigen) Energie wird in Form von Wärme an die Umgebung abgegeben.

Energie wird durch Urin und Schweiß abgegeben.

Tab. 4-40: Grundvorstellungen, die thematisch zum Vorstellungsgebäude C-5 passen

| GV- Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | Kf-Wert | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | SII in % |
|------------|---|-----------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | | | 784 | 168 | 168 | 168 | 280 |
| 13. | Energie wird zwischen Lebewesen und ihrer Umgebung ausgetauscht. | 17 | 89,9 | 76,2 | 91,7 | 89,9 | 97,1 |
| 2. | In Stoffen/Nahrung/Nahrungsbestandteilen ist Energie enthalten/gespeichert. | 14 | 77,9 | 67,3 | 72,6 | 79,8 | 86,4 |
| 9. | Nahrung/Nahrungsbestandteile/Stoffe sind Energie. | 11 | 8,9 | 13,7 | 7,7 | 9,5 | 6,4 |
| 43. | Durch Lebensvorgänge/Reaktionen/Stoffwechselfvorgänge/Prozesse in Lebewesen entsteht Wärme, die abgegeben wird. | 7 | 62,2 | 32,1 | 68,5 | 67,9 | 73,2 |
| 53. | Energieumwandlung ist unvollständig - Wärme wird frei. | 6 | 3,8 | 0,0 | 1,8 | 1,2 | 8,9 |
| 47. | Alle Energie endet in/wird zu Wärme. | 2 | 1,4 | 0,0 | 2,4 | 0,6 | 2,1 |
| 67. | Kleine Tiere verlieren mehr Energie an die Umgebung als große Tiere. | 1 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,8 |
| 51. | Tote Lebewesen geben (bei Verwesung) ihre Wärme ab. | 1 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 0,4 |

Erläuterungen zur Tabelle 4-40:

Die fachwissenschaftlich korrekte Vorstellung, dass Lebewesen Energie in Form von Wärme abgeben, ist weit verbreitet. Mit der GV 43 ist dieser Aspekt des Vorstellungsgebäudes durch eine

hohe Kontextflexibilität von 7 und eine hohe Auftrittshäufigkeit von durchschnittlich 62,2 Prozent abgesichert. Speziell in Bezug auf Pflanzen konnte diese Wärmeabgabe in 8 Begleitstudien mehrfach bestätigt werden (vgl. auch BURGER 1991).

Neben der Energieabgabe durch Wärme trat in zwei Begleitstudien zum "Stoffwechsel des Menschen" auch die Vorstellung einer an Materie gebundenen Energieabgabe auf: (BULTEMEIER 1997; BRIEST 1999) So äußerten 4 von 26 Gymnasiasten der 9. Jahrgangsstufe bei einer Befragung die Vorstellung, dass der Körper überschüssige Energie, die er nicht braucht, ausscheidet. Zwei Schüler vertraten dabei die Vorstellung, dass die Energie über den Schweiß ausgeschieden wird. Je ein Schüler gab den Urin bzw. die Wärme als ausgeschiedenen Form der Energie an.

Der Zusammenhang zwischen Energieabgabe (in Form von Wärme) und Körpergröße (Bergmann'-sche und Allen'sche Regel in der Ökologie) ist nur bei wenigen Oberstufenschülern in ihren Antworten aufgetreten (vgl. GV 67).

Die Ergebnisse von acht Begleitstudien belegen die Existenz dieses Vorstellungsgebäudes.

C-6: Energie kreist - einem Stoff ähnlich - auf der Erde. Energie kann zwischen Lebewesen untereinander sowie zwischen Lebewesen und ihrer Umwelt ausgetauscht werden.

Energie wird von Lebewesen aufgenommen und bei deren Tod wieder an die Umgebung abgegeben. Diese abgegebene Energie steht dann anderen Lebewesen wieder zur Aufnahme zur Verfügung: Pflanzen nehmen mit ihren Wurzeln Energie aus dem Boden auf, diese wird in Nahrungsketten weitergegeben und gelangt schließlich bei der Verwesung von toten Organismen wieder in den Boden. Energie kann in diesem Kreislauf von der Sonne eingespeist werden: sowohl Pflanzen als auch Tiere können Energie direkt von der Sonne aufnehmen.

Beim Übergang von einer Trophieebene zur nächsten tritt ein Energieverlust auf, da Energie zur Bewegung verbraucht wurde.

Tab. 4-41: Grundvorstellungen, die thematisch zum Vorstellungsgebäude C-6 passen

| GV- Nummer | Inhalt der Grundvorstellung | Kf-Wert | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | SI in % |
|------------|--|---------|-----------|------------|------------|-------------|---------|
| | | | 784 | 168 | 168 | 168 | 280 |
| 23. | Energie kann zwischen Stoffen/Dingen übertragen werden. | 5 | 1,0 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 2,5 |
| 54. | Luft/Sauerstoff/Stickstoff/Kohlendioxid sind Energieträger/übertragen Energie zwischen Pflanzen, Tieren und Menschen. | 4 | 2,9 | 3,6 | 3,6 | 1,8 | 2,9 |
| 40. | Energie wird (durch Nahrungsaufnahme) zwischen Lebewesen weitergegeben. | 3 | 2,2 | 0,6 | 2,4 | 0,6 | 3,9 |
| 49. | Energie (fließt nicht, sondern) kreist auf der Erde. | 2 | 3,3 | 0,0 | 5,4 | 3,6 | 3,9 |
| 68. | Bei Verwesung/Fäulnis entsteht Energie. | 1 | 2,7 | 0,0 | 4,8 | 4,2 | 2,1 |
| 71. | Bei Verwesung geht Energie in die Erde. | 1 | 0,4 | 0,0 | 1,2 | 0,6 | 0,0 |
| 51. | Tote Lebewesen geben (bei Verwesung) ihre Wärme ab. | 1 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 0,4 |

Erläuterungen zur Tabelle 4-41:

Die Kernaussage des Vorstellungsgebäudes C-6 "Energie kreist auf der Erde." (GV 49) trat in zwei der 20 Fragen konkret bei insgesamt 3,3 Prozent aller Schüler in ihren Antworten auf. Durch die inhaltliche Verknüpfung aller übrigen Vorstellungsgebäude kann diese Sichtweise des Energieflusses auf der Erde als übergeordnetes Gesamtkonzept von "Energie im biologischen Kontext" verstanden werden. Nur eine einzige der 91 formulierten Grundvorstellungen widerspricht dem

genannten Verständnis eines Energiekreislaufes: Die GV 47: "Alle Energie endet in /wird zu Wärme." mit einer Auftrittshäufigkeit von 1,4 Prozent. Wird des Weiteren beachtet, dass viele Schüler die Vorstellung besitzen, dass Lebewesen allgemein ihre Energie zum Leben durch Wärme aufnehmen (Vorstellungsgebäude C-1) und Energie wieder in Form von Wärme abgeben können (Vorstellungsgebäude C-5), wird deutlich, dass (fast) alle ermittelten Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" mit diesem letzten Vorstellungsgebäude C-6 zusammengefasst werden können: "Energie kreist - einem Stoff ähnlich - auf der Erde". In der Begleitstudie zum Thema "biotischer und abiotischer Energiefluss im Ökosystem Wald" fasst ein Schüler in Verbindung mit der Zersetzung von tierischem Kot zusammen: "Die Energie bleibt in der Erde und die Pflanzen nehmen das wieder auf." (PORBECK 1997). In der KSA 48 zur Frage A/B11 heißt es: "Zum Leben verwendet man Energie aus der Umgebung, die man nach dem Tod an sie zurückgibt." (vgl. auch SHEPARDSON 1997).

Die Ergebnisse aller neun Begleitstudien belegen die Existenz dieses Vorstellungsgebäudes.

4.5.6.2 Validität der Daten: Absicherung der getroffenen Aussagen durch Hinweise aus der Fragebogenstudie

1. Aspekt: Bearbeitungszeit

Übersicht über die Bearbeitungszeit der 20 verschiedenen Aufgaben von Bogen A und B

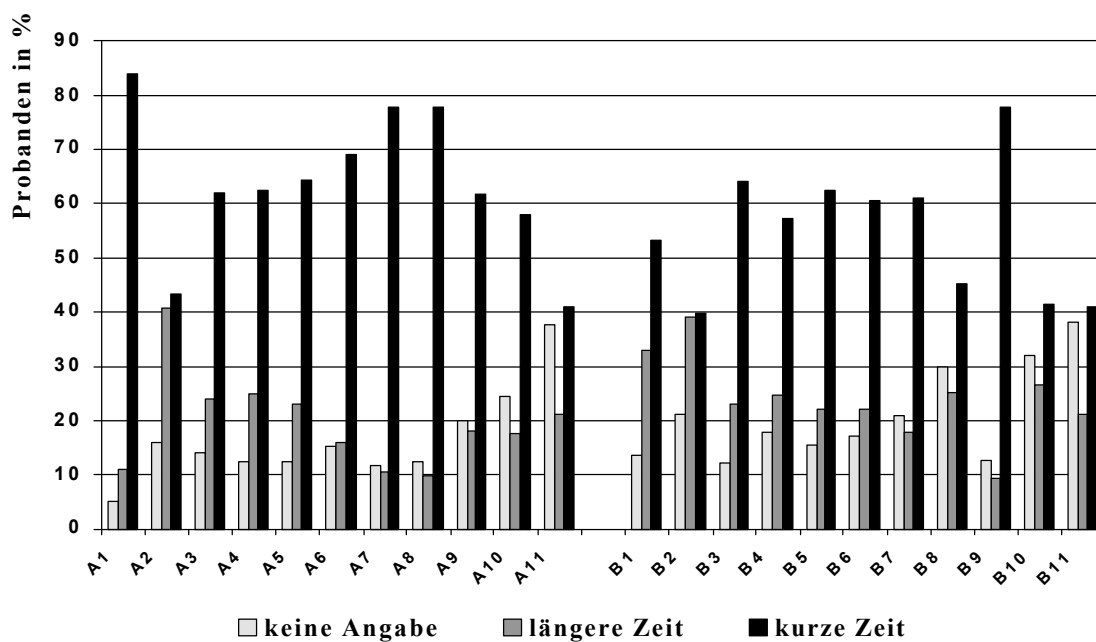


Abb. 4-8: Übersicht zur Bearbeitungszeit

Antworten, die nach kurzer Bearbeitungszeit formuliert werden, deuten auf den Rückgriff eher gefestigter "Alltags"-Vorstellung hin. Diese spontanen Antworten scheinen auf Wissensseinheiten

zu beruhen, die durch ein ausgeprägtes Verknüpfungsmuster oder (bzw. und zugleich durch) eine hohe Verknüpfungsintensität gekennzeichnet sind. Solche nach kurzer Zeit formulierten Antworten deuten auf die Anwendung solcher Wissensseinheiten hin, die im Rahmen dieser Arbeit als Grundvorstellungen bezeichnet werden (vgl. Kap. 4.2.3, S. 117)

In der Abbildung 4-8 sind die Selbsteinschätzungen der Schüler bezüglich der Bearbeitungszeit für alle Aufgaben der beiden Fragebögen A und B aufgeführt. Deutlich wird, dass bei keiner Frage die Mehrheit der Schüler längere Zeit vor der Beantwortung überlegen musste. 15 von 20 Fragen konnten von z.T. deutlich über 50% der Schüler ohne längeres Überlegen beantwortet werden.

Um zu analysieren, welche Unterschiede bezüglich der Auftrittshäufigkeit der Grundvorstellungen zwischen den Probanden mit kürzerer und den Probanden mit längerer Bearbeitungszeit bestehen, wurde die Differenz der prozentualen Auftrittshäufigkeit für die 91 Grundvorstellungen getrennt für jede Aufgabe zwischen den beiden Probandengruppen errechnet. In der Abbildung 4-9 sind die Differenzen der durchschnittlichen Auftrittshäufigkeiten aller Grundvorstellungen zusammengefasst: Die Zahl der Schüler, die längere Zeit für die Lösung der Aufgaben brauchten, wurden von der Zahl der schneller antwortenden Schüler subtrahiert, d.h. positive Werte bedeuten, dass die Schüler mit kurzer Bearbeitungszeit die entsprechende Grundvorstellungen häufiger anwandten. Auffällig ist zunächst, dass die schneller antwortenden Schüler 63 von 91 Grundvorstellungen häufiger anwandten.

Differenz der prozentualen Auftrittshäufigkeit von Grundvorstellungen bezüglich des Faktors Bearbeitungszeit

(Fragebogen A: "kurz nachgedacht" - "länger nachgedacht"; positive Werte bedeuten: größere Auftrittshäufigkeit trotz kurzer Bearbeitungszeit)

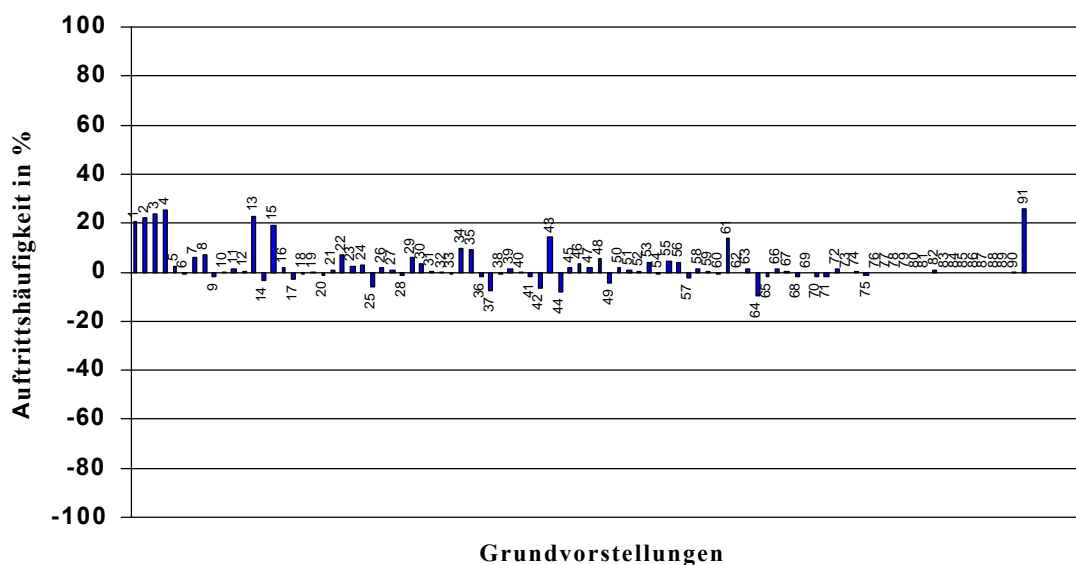


Abb. 4-9: Beziehung zwischen Auftrittshäufigkeit und Bearbeitungszeit

Da die Unterschiede bei 79 von 91 Grundvorstellungen jedoch geringer als 10% sind und selbst die größte Differenz deutlich unter 30% liegt, scheint der Faktor Bearbeitungszeit nur wenig Einfluss auf das Auftreten der Grundvorstellungen zu haben. Aufgrund dieser Ergebnisse können die Antworten derjenigen Schüler, die bei der Bearbeitung der Aufgaben aus verschiedenen Gründen

längere Zeit benötigten, gleich gewichtet zu den Antworten der schnell antwortenden Schüler ausgewertet werden. Die bei der Entwicklung des Fragebogens bestehende Befürchtung, dass Schüler bei schwierigeren Aufgaben "Auswegantworten" geben, die ihren eigentlichen Überzeugungen nicht oder nur wenig entsprechen - aus diesem Grunde wurde die Befragung nach der Bearbeitungszeit in den Bogen mit aufgenommen (vgl. Kap. 4.5.3.1, S. 149) -, erscheint in Hinblick auf die dargestellten Ergebnisse unbegründet.

2. Aspekt: Kontextflexibilität der angewandten Vorstellungsinhalte

Grundvorstellungen, die kontextflexibel zur Erklärung von verschiedenen naturwissenschaftlichen Fragestellungen und Phänomenen benutzt werden, deuten auf eine erhöhte Allgemeingültigkeit der entsprechenden Vorstellungsinhalte hin. Die Tatsache, dass 67 von 91 formulierten Grundvorstellungen zur Erläuterung verschiedener Fragestellungen angewandt wurden, erhöht die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die erhobenen Vorstellungen von grundlegender Bedeutung für die Probanden zu sein scheinen. Die Abbildung 4-10 zeigt deutlich, dass besonders die übergreifend zu "Energie im biologischen Kontext" formulierten Grundvorstellungen (v.a. GV1 bis GV13, vgl. Anhang VI) in einem weiten Fragenspektrum zur Anwendung kamen (Kf-Wert zwischen 6 und 18).

Überblick, in wievielen der insgesamt 20 Fragen die 91 Grundvorstellungen aufgetreten sind

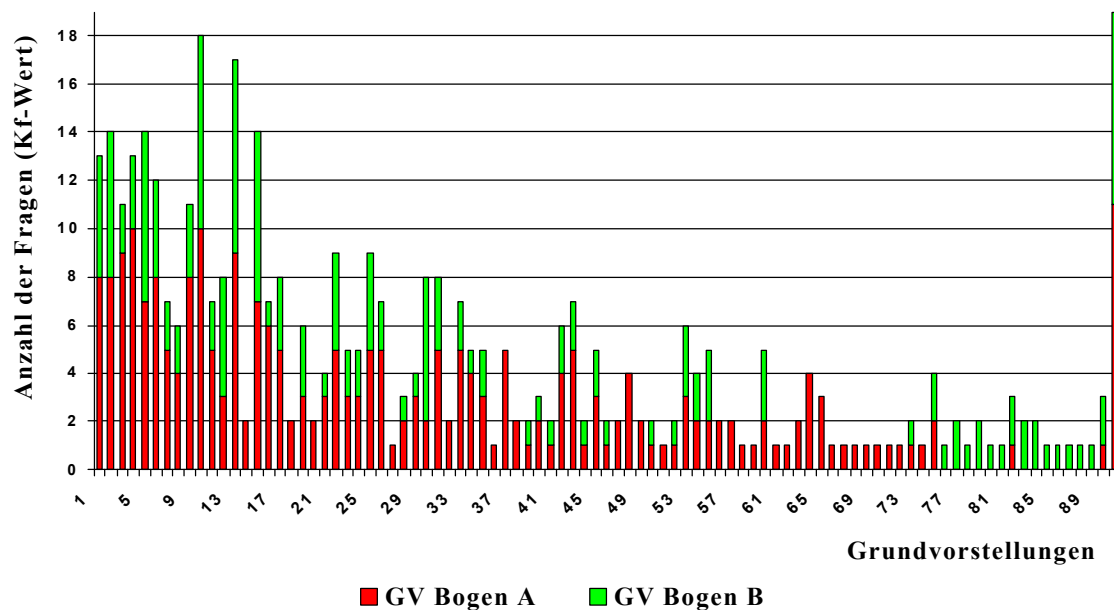


Abb. 4-10: Auftrittshäufigkeit der Grundvorstellungen

3. Aspekt: Schlüssigkeit der GV-Kombinationen

Um zu analysieren, welche der 91 Grundvorstellungen die Probanden mit welcher Grundvorstellung kombiniert zur Lösung der 20 Aufgaben anwandten, wurde für die Gesamtprobandenanzahl (N = 784) eine Kreuzmatrix errechnet (vgl. Anhang VII). In dieser Matrix ist abzulesen, wie viele Schüler eine Grundvorstellung mit einer anderen Grundvorstellung aus dem für sie ermittelten

GV-Profil bei der Bearbeitung ihres gesamten Fragebogens benutzt haben. Die Kombination der Grundvorstellungen muss dabei nicht unbedingt in einer Aufgabe geschehen sein, da die in Auswertungsschritt 5 (vgl. Kap. 4.5.3.3, S. 153) ermittelten GV-Profile pro Schüler und nicht pro Frage errechnet wurden.

Die Analyse der Daten ist in zwei Schritte aufgeteilt. Zunächst wurde die Liste der 91 Grundvorstellungen auf mögliche logische und unlogische GV-Kombinationen hin untersucht. Anschließend wurde die Auftrittshäufigkeit dieser Kombinationen in der Kreuzmatrix bestimmt.

Bei der Analyse, welche Grundvorstellungen nicht logisch zu verknüpfen sind, stellte sich heraus, dass bei fast allen unlogischen GV-Kombinationen (s.u.) Vorstellungsinhalte beteiligt sind, die gemäß den Richtlinien von der Thematik her im naturwissenschaftlichen Unterricht besprochen werden sollten. Wenn demnach unlogische GV-Kombinationen bei Probanden zu finden sind, konnten die entsprechenden Inhalte vermutlich nicht verständlich genug im Unterricht vermittelt werden. Die unlogischen Verknüpfungen belegen deshalb die Aussage, dass bestimmte Inhalte nur zusätzlich zu bereits vorhandenen Vorstellungsinhalten aufgenommen werden, ohne jedoch letztere dabei zu beeinflussen.

Widersprüchliche Verknüpfungen traten u.a. bei den GV 24 "Energie ist zwischen Atomen in Bindungen (chemisch) gespeichert." und GV 26 "Energie geht nie verloren." in Bezug auf andere Grundvorstellungen auf. Die Widersprüche beruhten hierbei alle auf der Tatsache, dass die Schüler Erklärungen gaben, in denen Energie entweder hergestellt und verbraucht wird oder Eigenschaften des "Stofflichen" besitzt. Insgesamt 73 Verknüpfungen sind aus diesem Grund unlogisch. In der Tabelle 4-42 sind die den GV 24 und GV 26 widersprechenden Grundvorstellungen und die Häufigkeit, mit der die unlogischen Kombinationen auftraten, einzeln aufgelistet.

Tab. 4-42: Unlogische GV-Kombinationen zu den GV 24 und 26

| GV | 1 | 3 | 5 | 6 | 8 | 12 | 19 | 30 | 68 | 79 | 87 | 91 | Summe |
|-----------------------------|----|----|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| Widerspruch zu GV 24 | - | - | 0 | 0 | - | - | 2 | - | - | - | - | - | 2 |
| Widerspruch zu GV 26 | 11 | 14 | - | - | 3 | 24 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 | 71 |

Weitere Widersprüche ergaben sich aus der Kombination der GV 47 und GV 48: Sieben Schüler, denen die aus naturwissenschaftlicher Sicht richtige GV 47 "Alle Energie endet in/wird zu Wärme." zugeordnet werden konnte, wandten gleichzeitig die auf einen "Energie- bzw. Wärmekreislauf" deutende GV 48 "Lebewesen nehmen Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge in Form von Wärme auf." an. Die GV 46 - als Spezifizierung von GV 48 - "Pflanzen nehmen Energie in Form von Wärme auf." wurde dagegen nicht mit der GV 47 kombiniert.

Die unlogische Verknüpfung von GV 19 "Energie ist in Stoffen/Dingen/Lebewesen/ Teilen von Lebewesen nicht im ganzen Objekt verteilt, sondern nur an bestimmten Stellen." mit GV 28 "In Dingen/Nahrungsbestandteilen/Körperteilen steckt überall Energie." trat achtmal auf, die Verknüpfung GV 1 "Energie wird in Lebewesen/im Körper hergestellt (z.B. aus Nahrung)." und GV 9 "Nahrung/Nahrungsbestandteile/Stoffe sind Energie." trat 20mal auf, die widersprüchliche Kombination von GV 19 mit GV 27 "Energie ist in bestimmten Strukturen (Faltblattstruktur, Ringstruktur) der Materie." trat dagegen gar nicht auf.

Zusammenfassend kann festgehalten werden:

Von insgesamt 50492 analysierten GV-Kombinationen widersprechen sich nur 108 Verknüpfungen, d.h. über 99,8 % aller GV-Kombinationen fügen sich zu einem in sich stimmigen und zusammenhängenden Wissensnetz zu "Energie im biologischen Kontext".

Eine Wissenskompartimentalisierung konnte aufgrund dieser Erhebungsdaten zu "Energie im biologischen Kontext" nur in Ansätzen nachgewiesen werden.

Aufgrund der wenigen Fälle, in denen Grundvorstellungen unlogisch verknüpft wurden, erscheint eine Faktorenanalyse weder notwendig noch sinnvoll.

4.5.6.3 *Validität der Daten: Absicherung der getroffenen Aussagen durch Hinweise aus der Interviewstudie*

In den 20 Interviews wandten die einzelnen Probanden insgesamt zwischen 10 und 53 Grundvorstellungen bzw. zwischen 8 und 28 verschiedene Grundvorstellungen pro Befragung an (im Durchschnitt 18,4 verschiedene Grundvorstellungen). Zum Vergleich: Bei der Auswertung der Fragebögen konnten pro Schüler 0 bis 25 Grundvorstellungen, im Durchschnitt 11,2 verschiedene Grundvorstellungen ermittelt werden. Damit konnte bei den mündlich befragten Schülern im Vergleich zu den schriftlich befragten Schülern ein deutlich dichteres Netz an Vorstellungen ermittelt werden. Dennoch konnten alle in den Interviews geäußerten Vorstellungen zur Thematik "Energie im biologischen Kontext" den 91 Grundvorstellungen zugeordnet werden, die zur Auswertung der Fragebogenstudie aufgestellt wurden. Die Interviews deckten damit trotz z.T. intensiver Befragungen keine neuen Vorstellungsinhalte auf. Dies kann als Indiz dafür gewertet werden, dass mit Hilfe der 784 ausgewerteten Fragebögen ein weiter Teil des möglichen Spektrums der verschiedenen Vorstellungsinhalte zur Thematik "Energie im biologischen Kontext" ermittelt werden konnte. Die Tabelle 4-43 gibt eine Übersicht über die in den Interviews ermittelten GV.

Tab. 4-43: Übersicht über die in den Interviews ermittelten Grundvorstellungen

| * | J5 n | J5 j | M5 n | M5 j | J8 n | J8 j | M8 n | M8 j | J10 n | J10 j | M10 n | M10 j | J11 n | J11 j | M11 n | M11 j | J12 n | J12 j | M12 n | M12 j |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1. | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 5 | 2 | 2 | 2 |
| 2. | 3 | 12 | 5 | 3 | 14 | 2 | 16 | 5 | 3 | 5 | 3 | 5 | 8 | 3 | 4 | 4 | 9 | 4 | 4 | 4 |
| 3. | 14 | 19 | 15 | 13 | 17 | 4 | 40 | 13 | 10 | 6 | 10 | 12 | 10 | 5 | 9 | 6 | 12 | 5 | 9 | 5 |
| 4. | 19 | 28 | 19 | 15 | 19 | 6 | 41 | 14 | 11 | 10 | 13 | 30 | 26 | 12 | 12 | 11 | 15 | 10 | 13 | 7 |
| 5. | 20 | 29 | 28 | 19 | 25 | 9 | 54 | 19 | 13 | 12 | 15 | 34 | 33 | 15 | 14 | 12 | 25 | 11 | 14 | 10 |
| 6. | 28 | 37 | 29 | 29 | 42 | 10 | 82 | 20 | 14 | 13 | 19 | 41 | 41 | 16 | 16 | 15 | 26 | 12 | 15 | 14 |
| 7. | 29 | 39 | 31 | 34 | 52 | 11 | 89 | 29 | 15 | 16 | 26 | 43 | 43 | 17 | 19 | 19 | 29 | 13 | 19 | 19 |
| 8. | 34 | 40 | 34 | 37 | 54 | 13 | 90 | 37 | 17 | 17 | 28 | 45 | 54 | 19 | 29 | 22 | 35 | 15 | 20 | 22 |
| 9. | 41 | 82 | 36 | 39 | 65 | 14 | | 42 | 19 | 19 | 33 | 49 | 75 | 29 | 37 | 26 | 43 | 19 | 37 | 26 |
| 10. | 82 | 89 | 37 | 52 | 82 | 15 | | 45 | 20 | 25 | 37 | 49 | 84 | 34 | 40 | 27 | 54 | 26 | 40 | 33 |
| 11. | 89 | 91 | 40 | 82 | 84 | 16 | | 52 | 25 | 28 | 42 | 50 | 89 | 37 | 41 | 29 | 60 | 27 | 41 | 34 |
| 12. | 90 | | 44 | 89 | 89 | 19 | | 57 | 29 | 33 | 45 | 54 | 90 | 37 | 42 | 33 | 89 | 28 | 42 | 38 |
| 13. | 91 | | 52 | 89 | | 28 | | 65 | 39 | 34 | 57 | 55 | 91 | 40 | 43 | 34 | 91 | 29 | 45 | 40 |
| 14. | | | 54 | 90 | | 29 | | 74 | 40 | 36 | 65 | 75 | | 42 | 52 | 38 | | 33 | 82 | 41 |
| 15. | | | 57 | | | 30 | | 75 | 41 | 37 | 82 | 89 | | 52 | 57 | 39 | | 34 | 89 | 42 |
| 16. | | | 65 | | | 34 | | 81 | 42 | 40 | 89 | 91 | | 55 | 65 | 40 | | 42 | 89 | 45 |
| 17. | | | 82 | | | 37 | | 82 | 43 | 43 | 91 | | | 57 | 75 | 41 | | 43 | 90 | 52 |
| 18. | | | 89 | | | 39 | | 89 | 46 | 52 | | | | 65 | 81 | 43 | | 52 | | 53 |
| 19. | | | 90 | | | 42 | | 91 | 50 | 57 | | | | 68 | 82 | 48 | | 65 | | 55 |
| 20. | | | 91 | | | 43 | | | 52 | 65 | | | | 75 | 89 | 49 | | 89 | | 65 |
| 21. | | | | | | 52 | | | 54 | 82 | | | | 82 | 90 | 53 | | 89 | | 81 |
| 22. | | | | | | 71 | | | 55 | 89 | | | | 82 | 91 | 55 | | 90 | | 82 |
| 23. | | | | | | 74 | | | 57 | 91 | | | | 89 | | 57 | | 91 | | 90 |
| 24. | | | | | | 82 | | | 65 | | | | | 91 | | 73 | | | | 91 |
| 25. | | | | | | 87 | | | 75 | | | | | | | 91 | | | | |
| 26. | | | | | | 91 | | | 82 | | | | | | | | | | | |
| 27. | | | | | | | | | 89 | | | | | | | | | | | |
| 28. | | | | | | | | | 91 | | | | | | | | | | | |

* Erläuterung: In der Kopfzeile sind in gleicher Reihenfolge jeweils angegeben: 1. Geschlecht (J = Junge, M = Mädchen), 2. Jahrgang, 3. Naturwissenschaftliches Interesse (j = ja, n = nein; in den Jahrgängen 10 bis 12 bezieht sich das Ja und Nein gleichzeitig auf den Besuch von Differenzierungs- bzw. Leistungskursunterricht in Biologie)

Trotz zum Teil unterschiedlicher Fragen (vgl. S. 161) und einer im Vergleich zur Fragebogenstudie viel niedrigeren Probandenanzahl (Verhältnis 784 zu 20) konnten auch in den 20 Interviews 64 der 91 Grundvorstellungen nachgewiesen werden. Auffällig war, dass alle Grundvorstellungen mit einer hohen Kontextflexibilität (Kf-Wert 6 bis 19) auch in den Interviews auftraten. Die folgende Tabelle 4-44 zeigt, dass diese Grundvorstellungen mit den hohen Kf-Werten (hier GV mit einem Kf-Wert > 8) zumeist von mehreren bzw. vielen der interviewten 20 Schüler benutzt wurden.

Tabelle 4-44: Auftrittshäufigkeit der Grundvorstellungen mit einem hohen Kf-Wert (>8) im Interview

| GV | 91 | 10 | 13 | 15 | 2 | 5 | 4 | 1 | 6 | 3 | 9 | 25 | 22 | 31 | 30 | 17 | 12 |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Kf-Wert in der Fragebogenstudie | 19 | 18 | 17 | 14 | 14 | 14 | 13 | 13 | 12 | 11 | 11 | 9 | 9 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Auftrittshäufigkeit in den 20 Interviews | 16 | 7 | 8 | 10 | 17 | 8 | 7 | 1 | 3 | 6 | 4 | 4 | 2 | 1 | 2 | 4 | 8 |

Die in der Interviewstudie nicht nachgewiesenen Grundvorstellungen waren bis auf vier Ausnahmen Vorstellungen, die in der Fragebogenstudie einen Kf-Wert von nur 1 oder 2 und eine Auftrittshäufigkeit in der Regel deutlich unter 2 Prozent aufwiesen. Die erwähnten Ausnahmen waren GV 21 "Nahrungsbestandteile selbst sind für die Bildung von ATP (Energiespeicher) nötig." (Kf-Wert 4, Auftrittshäufigkeit 2,7%), GV 23 "Energie kann zwischen Stoffen/Dingen übertragen werden" (Kf-Wert 5, Auftrittshäufigkeit 1%), GV 24 "Energie ist zwischen den Atomen in den Bindungen (chemisch) gespeichert." (Kf-Wert 5, Auftrittshäufigkeit 1,3%) und GV 64 "Schnelle Vorgänge benötigen viel Energie und umgekehrt." (Kf-Wert 4, Auftrittshäufigkeit 24,6%).

Mit Blick auf das Ziel der Interviewstudie, lediglich *die Vollständigkeit und Inhalte der mit der Fragebogenstudie ermittelten Grundvorstellungen zu prüfen*, wurde aufgrund der geringen Probandenanzahl keine detaillierte rechnerische Analyse bezüglich der Auftrittshäufigkeit einzelner Grundvorstellungen durchgeführt. Auch die Abhängigkeit von den aus der Fragebogenstudie bekannten Faktoren wurde aus dem selben Grunde nicht analysiert.

Zusammenfassend kann festgestellt werden: Die Ergebnisse der Interviewstudie sichern die Ergebnisse der Fragebogenstudie qualitativ ab. Die in der Fragebogenstudie vorgenommene Wertung bestimmter Grundvorstellungen als wesentliche wiederkehrende Wissenseinheiten zum Thema "Energie im biologischen Kontext" durch einen hohen Kf-Wert und/oder durch eine hohe Auftrittshäufigkeit wird durch die Ergebnisse der Interviewstudie gestützt.

4.5.6.4 Validität der Daten: Absicherung der getroffenen Aussagen durch Hinweise aus den Begleitstudien

Im Rahmen von neun Begleitstudien wurden zwischen 1993 und 1999 die Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" durch Untersuchungen zu eingeschränkten Themenbereichen des biotischen und abiotischen Energieflusses untersucht. Die Untersuchungsmethoden gleichen den im Rahmen dieser Arbeit angewandten Methoden (vgl. Tab. 4-16, S. 141).

In der folgenden Tabelle 4-45 ist aufgelistet, zu welchen Themenbereichen die Untersuchungen durchgeführt wurden. Eine kurze Beschreibung gibt einen Einblick in die verschiedenen Vorhaben.

Tab. 4-45: Übersicht über die neun Begleitstudien zu dieser Arbeit

| Themenbereich | Verfasser/Jahr | Kurze Beschreibung der Begleitstudie |
|-------------------------------|-------------------|--|
| Photosynthese | SCHMIDT (1993) | Im Rahmen einer Fragebogenstudie zu energetischen Aspekten der Photosynthese wurden insgesamt 590 Schüler aus je einer Bielefelder Haupt-, Real- und Gesamtschule sowie einem Gymnasium jeweils aus den Jahrgangsstufen 5, 7 und 10 befragt. Für den Vergleich mit den Ergebnissen dieser Arbeit wurden nur die Antworten der Gesamtschüler und der Gymnasiasten ausgewertet. Die Haupt- und Realschüler haben ähnliche Vorstellungen. Unterschiede bestehen in der Auftrittshäufigkeit der verschiedenen Vorstellungsinhalte. |
| | STEINMEIER (1995) | Im Rahmen einer halbstandardisierten Interviewstudie wurden 13 Gymnasiasten und 10 Realschüler der 5. und 8. Klasse anhand von fünf situativen Beispielen aus ihrem Erfahrungshorizont zum Thema Photosynthese ohne eine Schwerpunktsetzung auf energetische Aspekte interviewt. Nur die Antworten der Gymnasiasten wurden zum Vergleich mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit berücksichtigt. |
| | KLÄB (1997) | Im Rahmen einer halbstandardisierten Interviewstudie wurden 14 Schüler eines Biologie-Grundkurses und 8 Schüler eines Biologie-Leistungskurses in der 11. Jahrgangsstufe eines Bielefelder Gymnasiums jeweils vor und nach einer Unterrichtsreihe zur Photosynthese befragt. Für den Vergleich mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit wurden beide Interviewreihen gleichermaßen berücksichtigt. |
| Energiefluss in Ökosystemen | EICKHOFF (1993) | Die Schülervorstellungen zum "Energiefluss im Ökosystem" wurden mittels einer Fragestudie bei insgesamt 593 Schülern aus einer Bielefelder Haupt-, Real- und Gesamtschule sowie einem Gymnasium jeweils aus den Jahrgangsstufen 5, 7 und 10 untersucht. Für den Vergleich mit den Ergebnissen dieser Arbeit wurden nur die Antworten der Gesamtschüler und der Gymnasiasten ausgewertet. Die Haupt- und Realschüler haben ähnliche Vorstellungen. Unterschiede bestehen in der Auftrittshäufigkeit der verschiedenen Vorstellungsinhalte. Die Gymnasiasten hatten in allen Bereichen weniger fachlich falsche Vorstellungen. |
| | PORBECK (1997) | Die Vorstellungen zum Themenbereich "Biotischer und abiotischer Energiefluss im Ökosystem Wald" wurden bei 23 Schülern im 8. Jahrgang eines Bielefelder Gymnasiums mittels halbstandardisierter Interviews vor und nach einer Unterrichtsreihe zum Thema "Ökosystem Wald" untersucht. |
| | RETHMEIER (1998) | Die Vorstellungen zum Themenbereich "Biotischer und abiotischer Energiefluss im Ökosystem Stadt" wurden bei 17 Schülern im 8. Jahrgang eines Bielefelder Gymnasiums mittels halbstandardisierter Interviews vor und nach einer Unterrichtsreihe zum Thema "Ökosystem Stadt" untersucht. |
| Stoffwechsel des Menschen | BULTEMEIER (1997) | Zum Thema "Stoffwechsel des Menschen" wurde in einem Bielefelder Gymnasium der Einfluss des Schulunterrichts auf die themenrelevanten Schülervorstellungen untersucht. In zwei halbstandardisierten Interviewreihen wurden hierzu 26 Schüler zum Ende der 8. Klasse und zu Beginn der 9. Klasse direkt nach einer Unterrichtsreihe zum Themenbereich "Ernährung und Verdauung" befragt. Die Ergebnisse beider Befragungen wurden zur Absicherung der Daten dieser Arbeit berücksichtigt. |
| | BRIEST (1999) | Ebenfalls zum Thema "Stoffwechsel des Menschen" wurde in einem Bielefelder Gymnasium die Klasse der Untersuchung von Bultemeier (1997) knapp ein Jahr später wiederholt befragt und zusätzlich je 75 Schüler der 7., 9. und 12. Jahrgangsstufe zu den energetischen Aspekten des Themas interviewt. Die Ergebnisse aller Befragungen wurden zur Absicherung der Daten dieser Arbeit berücksichtigt. |
| Wirkungen der Sonnenstrahlung | KAUPMANN (1998) | In zwei halbstandardisierten Interviewreihen mit 13 Schülern eines Biologie-Grundkurses und 24 Schülern eines Biologie-Leistungskurses jeweils aus der 11. Jahrgangsstufe eines Bielefelder Gymnasiums wurden die Schülervorstellungen zu leicht beobachtbaren Phänomenen, die Lebewesen aufgrund von Sonneneinstrahlung zeigen (u. a. Hautbräunung, Sonnenbrand, Bewegung von Pflanzen), untersucht. |

Tab. 4-46: Übersicht über die Begleitstudien und ihre Aussagen zu Vorstellungsgebäuden

| Themenbereiche | Aspekte | Begleitstudien | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------|--|-----------------|-----------|---------------|--------------|----------------|------------|-------------|---------------|--|
| | | Inhalt der Vorstellungsgebäude | | | | | | | | | |
| | | SCHMIDT 1993 | STEINMEIER 1995 | KLÄß 1997 | EICKHOFF 1993 | PORBECK 1997 | RETHEIMER 1998 | BULTEMEIER | BRIEST 1999 | KAUPMANN 1998 | |
| Eigen-schaften | A1-1 | Energie ist etwas "Stoffliches". | | | | | | | | | |
| | A1-2 | Energie ist etwas Abstraktes, eine Eigenschaft, die Lebewesen besitzen können. | | | | | | | | | |
| Zweck | A2-1 | Energie bzw. Wärme(energie) wird mit "Phänomenen des Lebendigen" und "Aspekten von Gesundheit" in Verbindung gebracht. Energie selbst, als Stoff bzw. in Form von Wärme(energie), ist dabei für den Ablauf bestimmter Reaktionen/Phänomene notwendig. | | | | | | | | | |
| Vorkommen, Speicherung und Transport | B1-1 | Energie ist in Biomasse nur bzw. besonders an bestimmten Orten. | | | | | | | | | |
| | B1-2 | Energie entsteht in Lebewesen. | | | | | | | | | |
| | B1-3 | Energie kann in Lebewesen gespeichert werden. Die Speicherung von Energie ist dabei entweder direkt an Materie gebunden (wie z.B. Vitamine, Mineralstoffe, Wasser und Gase - Oberstufenschüler nennen auch ATP) oder aber "materiell ungebunden"* (vgl. A1-2). | | | | | | | | | |
| | B1-4 | Energie wird in Lebewesen an Materie gebunden transportiert (z.B. Blutkörperchen). | | | | | | | | | |
| | B1-5 | Energie wird in Lebewesen amateriell transportiert (vgl. A1-2). | | | | | | | | | |
| Umwandlung | B2-1 | In Lebewesen wird Energie umgewandelt und verbraucht. | | | | | | | | | |
| | B2-2 | Lebewesen erzeugen Wärme - besonders durch "Verbrennung von Stoffen" und Bewegungsvorgänge (Reibung). | | | | | | | | | |
| | B2-3 | Energie wird dort umgewandelt, wo auch Energie gespeichert ist bzw. wo das mit Sinnen wahrnehmbare "Folgeprodukt" der Energie (z.B. Bewegung, Wärme) gebraucht wird. | | | | | | | | | |
| Aufnahme und Abgabe | C-1 | Lebewesen nehmen die für ihre Lebensvorgänge nötige Energie (ausschließlich) mit Wärme auf. | | | | | | | | | |
| | C-2 | Tierische Lebewesen/Menschen nehmen die für ihre Lebensvorgänge nötige Energie durch Nahrung (Vitamine und Mineralstoffe/Spurenelemente), Gase und Wasser an Materie gebunden auf. | | | | | | | | | |
| | C-3 | Tierische Lebewesen/Menschen nehmen die für ihre Lebensvorgänge nötige Energie (durch Licht) direkt von der Sonne auf. | | | | | | | | | |
| | C-4 | Pflanzen nehmen die für ihre Lebensvorgänge nötige Energie zum Leben wie tierische Organismen an Materie gebunden (aus dem Boden (u.a. mit Wasser, Nährstoffen) oder durch Gase in der Luft) auf. | | | | | | | | | |
| | C-5 | Energie wird von Lebewesen durch Wärme und Stoffe (z.B. Urin) abgegeben. | | | | | | | | | |
| | C-6 | Energie kreist - einem Stoff ähnlich - auf der Erde.* Energie kann zwischen Lebewesen untereinander sowie zwischen Lebewesen und ihrer Umwelt ausgetauscht werden. | | | | | | | | | |

Legende: * = Vorstellungsgebäude tritt in der Begleitstudie auf
 - = Vorstellungsgebäude tritt in der Begleitstudie nicht auf
 0 = Themenbereich wird in der Begleitstudie von keiner der Fragen thematisiert
 ** = auch der mit * gekennzeichnete Aspekt des Vorstellungsgebäudes ist belegt

Die in den Begleitstudien gewonnenen Ergebnisse belegen zumeist mehrfach die Verbreitung aller in dieser Arbeit formulierten Grundvorstellungen und Vorstellungsgebäude. Anhand der Tabelle

¹⁷ In einem Multiple-choice-Test wurden den Schülern zu diesem Aspekt mit der Frage "Ein Meerschweinchen bekommt seine Energie ..." nur die vier Möglichkeiten "durch die Luft, die es atmet", "indem es sich bewegt", "mit seinem Futter" und "mit seinem Trinkwasser" angeboten.

4-46 kann abgelesen werden, welche Begleitstudie durch ihre Ergebnisse welches der übergreifenden Vorstellungsgebäude bestätigt.

Im Rahmen der Faktorenanalyse wurde in dieser Arbeit ermittelt, welchen Einfluss der Besuch unterschiedlicher Schulformen auf die Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" besitzt. Da in einigen Begleitstudien Schüler aus unterschiedlichen Schulformen befragt wurden (EICKHOFF 1993; SCHMIDT 1993; STEINMEIER 1995), kann das diesbezügliche Ergebnis dieser Arbeit überprüft werden: Alle Begleitstudien unterstützen einheitlich die im Rahmen dieser Arbeit getroffene Aussage, dass der Faktor Schulform nur eine untergeordnete Rolle in Hinblick auf das Spektrum der erhobenen Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" spielt.

4.5.6.5 Wertung der Untersuchungsmethode auf Grundlage der ermittelten Ergebnisse

Wie angemessen erscheint die gewählte Untersuchungsmethode zur Ermittlung von Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" in Hinblick auf die erzielten Ergebnisse?

In Hinblick auf das aufgedeckte weite Spektrum der Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" und in Hinblick auf die in Kap. 4.5.6.1 und 4.5.6.2 diskutierte Güte der erhobenen Daten hat sich das für diese Untersuchung entwickelte Erhebungsinstrument als geeignet herausgestellt. Durch die Kombination von Fragebogen und Interview, die Auswahl geeigneter, inhaltlich sich überlappender Fragestellungen und die Durchführung von Begleitstudien ergab sich ein detaillierter und im Rahmen der Möglichkeiten abgesicherter Einblick in die unterrichtsrelevanten Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext".

Insbesondere die in den GV-Profilen der 784 befragten Schüler zu 99,8% widerspruchsfreie Kombination der im Rahmen dieser Arbeit aufgestellten 91 Grundvorstellungen (vgl. Kreuzmatrix in Kap. 4.5.6.1) sowie die Konsistenz der Schülervorstellungen innerhalb einer Untersuchungsmethode und im Vergleich zwischen den beiden Untersuchungsmethoden sprechen für die Reliabilität der Messinstrumente und die Validität der erhobenen Daten:

Die bei der Auswahl der Untersuchungsmethoden (Kap. 4.5.2.1, S. 141f) diskutierte Befürchtung, dass Schüler, die keine Antwort auf einzelne Fragen wussten, sich ad hoc-Antworten ausdenken und damit Phantasieantworten geben, die nicht ihr tatsächliches Wissen widerspiegeln, kann durch dieses Ergebnis - wie bereits angedeutet - als unbegründet gelten. Hätten die Schüler häufig derartige Phantasieantworten formuliert, wäre ein höherer Anteil an Widersprüchen zu erwarten gewesen.

Auch die Suche nach Grundvorstellungen kann durch das Ergebnis im Nachhinein als berechtigt bezeichnet werden. Die Existenz derartiger grundlegender Vorstellungselemente - wie sie in Kapitel 3.1.4 (S. 86f) und Kapitel 4.2.3 (S. 117f) theoretisch abgeleitet wurde - die als verbindende Inhalte innerhalb und zwischen verschiedener Wissensdomänen für einen vernetzten Wissenskorpus stehen, wird durch die hohe Widerspruchsfreiheit der Kombination der Grundvorstellungen bekräftigt. Zwar wird das Wissen, das von einer Person in einer bestimmten Frage (Situation) geäußert wird, durch die Situation selbst mitbestimmt (vgl. konstruktivistische Kernaussagen, S. 54f). Aus diesem Grund sind die Überlegungen eines Probanden stets individuell und einzigartig. Dennoch weist die widerspruchsfreie Kombination von Grundvorstellungen in unterschiedlichen Zusammenhängen von einer Person auf ein grundlegendes Energieverständnis hin, welches relativ situationsunabhängig zur Deutung von den verschiedensten Wahrnehmungen (hier zur Beantwortung der verschiedensten Fragen) eingesetzt wird. Die Benennung als "*Grundvorstellung*" erscheint damit auch durch die konkreten Ergebnisse gerechtfertigt zu sein.

Durch den geringen Anteil an widersprüchlichen Grundvorstellungen bleibt gleichzeitig auch die Hypothese der Wissenskompartimentalisierung (Überblick in MANDL et al. 1993) und die Beobachtungen von REIF & LARKIN (1991), dass das Schülerwissen in unterschiedliche Bereiche zerfällt, die in sich zwar schlüssig sind, sich gegenseitig jedoch widersprechen können (vgl. auch STÄDTLER 1998), bestehen. Hätten sich stets alle Grundvorstellungen eines Schülers zu einem widerspruchsfreien Bild ergänzt bzw. hätten sich viele Aussagen der Schüler inhaltlich widersprochen, hätten sowohl die Namensgebung "Grundvorstellung" als auch die in dieser Arbeit zugrunde gelegte Auffassung zur Wissensrepräsentation überdacht werden müssen.

Wie fehlerhaft ist die angewandte Methode der Datenreduktion?

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es nicht, die Gedankengänge einzelner Schüler detailgetreu nachvollziehen zu können. Bedingt durch das übergreifende Ziel, ein effizienteres Unterrichten von vielen Schülern im traditionellen Klassen- bzw. Kursverband zu ermöglichen, sollte vielmehr nach möglichst häufig wiederkehrenden Vorstellungsinhalten zum Thema "Energie im biologischen Kontext" gesucht werden. Dadurch, dass nicht nur nach Vorstellungen gesucht wurde, die im Wissensnetz eines einzelnen Schülers wiederkehren, sondern auch nach Vorstellungen gefahndet wurde, die in einer Population wie etwa einer Klasse wiederkehren, musste, um Vorstellungsinhalte tatsächlich als wiederkehrend einstufen zu können, eine größere Population befragt werden. Um die von 784 Schülern genannten Vorstellungen vergleichen zu können und für den späteren Unterrichtseinsatz handhabbar zu machen, mussten die Daten von über 3000 handbeschriebenen Blättern zusammengefasst werden. Die vorgenommene Methode zur Datenreduktion ist in Kap. 4.5.3.3 (s. 153f) und 4.5.6.1 (S. 176) beschrieben worden. Die Originalaussagen von 784 Schülern wurden zu 91 Grundvorstellungen und anschließend zu 17 Vorstellungsgebäuden zusammengeführt. Dass die durch das Ziel der Arbeit bestimmte Methode zur Verdichtung der Daten nicht ohne Datenverlust auskommt, wurde billigend in Kauf genommen. Die in Kapitel 5 gezogenen Schlussfolgerungen für den Unterricht auf Grundlage der Schülervorstellungen basieren nicht auf den Einzelaussagen der Befragten, sondern auf den die Einzelaussagen verbindenden grundsätzlichen Ideen zu "Energie im biologischen Kontext", den Grundvorstellungen und den sie zusammenfassenden Vorstellungsgebäuden. Auf Grundlage der vorgestellten Ergebnisse kann die methodenbedingte Ungenauigkeit durch die Interpretation und Zusammenfassung von Schüleraussagen als wenig bedeutend gewichtet werden: Die Existenz der aufgestellten Grundvorstellungen und Vorstellungsgebäude kann in Hinblick auf die mehrfache Bestätigung der Vorstellungsinhalte durch die Fragebogen- und Interviewstudie im Rahmen dieser Arbeit und zusätzlich durch die Bestätigung der Ergebnisse durch die neun Begleitstudien als abgesichert gelten.

Wie stark stimmen die Formulierungen der Schüler mit ihren "tatsächlichen" Vorstellungen überein?

Anders gefragt: Hat ein Schüler, der die Antwort gibt "Energie wird in den Zellen verbrannt.", tatsächlich die Vorstellung, dass Energie - ähnlich einem Stück Holz im Kamin - verbrennt? Welche semantische Übereinstimmung besteht zwischen Proband und Untersucher?

Viele der in dieser Untersuchung aufgedeckten Schülervorstellungen sind für einen Naturwissenschaftler kaum - wenn nicht sogar gar nicht - verständlich. Die Vermutung besteht, dass die Aussagen der Schüler - insbesondere bei besonders "abwegigen" Inhalten - nicht ein Abbild ihrer wirklichen Vorstellungen sind. LINSE (1995) vermutet bei solchen als absurd empfundenen Vorstellungsinhalten, dass der Interpret das Gesagte des Probanden (noch) nicht verstanden hat.

Auch wenn unter Berücksichtigung der vierten Kernaussage zum Konstruktivismus "Sprache übermittelt keinen Sinn und keine Bedeutung." (S. 60) letztlich nicht endgültig geklärt werden

kann, welche Vorstellungsinhalte durch welche Worte zwischen Fragendem und Befragtem vermittelt werden sollten, gibt es doch einen Hinweis, der zumindest eine Tendenz in Hinblick auf abwegige Vorstellungsinhalte vermittelt: Da "unglaubliche" Schülervorstellungen sowohl in den zur Absicherung der Fragebogendaten durchgeführten Interviews und Begleitstudien auftraten als auch in Untersuchungen anderer Arbeitsgruppen (vgl. Kap. 4.5.6.7, S. 213), die ähnliche Aspekte zu Schülervorstellungen von "Energie im biologischen Kontext" untersuchten, erscheinen auch die dem Betrachter ungewöhnlichen Vorstellungsinhalte in ihrer Existenz als wahrscheinlich.

Wie repräsentativ sind die Ergebnisse?

Die Frage nach der Repräsentativität der erhobenen Daten berührt im Rahmen dieser Arbeit die Frage nach der Bedeutung für die unterrichtliche Praxis. Hierzu sind drei Fragen wichtig:

1. Wie stark schwanken die Vorstellungsinhalte und -häufigkeiten in unterschiedlichen Klassen und Kursen? Konkret: Besitzt eine Lerngruppe, die z.B. fast nur aus Mädchen oder fast nur aus naturwissenschaftlich interessierten Jugendlichen besteht, ein anderes Vorstellungsspektrum als eine Lerngruppe mit etwa naturwissenschaftlich uninteressierten Jungen?

Diese Frage lässt sich mit Hilfe der Daten zur Analyse der ausgewählten unterrichtsrelevanten Faktoren klären (vgl. Kap. 4.2.2, S. 115).

Bei der Auswahl der auszuwertenden Fragebögen ist auf eine zahlenmäßig gleiche und nicht auf eine repräsentative Verteilung der Probanden in Hinblick auf die Faktoren geachtet worden (vgl. 4.5.3.3, S. 153). Eine repräsentative Stichprobe hätte die Probanden entsprechend der normalen Verteilung bezüglich der betrachteten Faktoren beinhalten müssen. Auch hätten nicht Probanden aussortiert werden dürfen, die offensichtlich Blödsinnsantworten gegeben haben oder/und deren Antworten wegen gravierender Schwierigkeiten mit der deutschen Sprache kaum verständlich waren. Da aber die einzelnen Faktoren (Ausnahme Jahrgangstufe) - wie in Kap. 4.5.5.2 (S. 169) gezeigt - keinen praxisrelevanten Einfluss auf die Qualität und Quantität der Schülervorstellungen haben, kann davon ausgegangen werden, dass die ermittelten Schülervorstellungen aussagekräftig die gängigen Klassen- und Kurssituationen bezüglich der Vorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" (unabhängig von der Kurszusammensetzung und unabhängig von der Schulform¹⁸ und der Lage der Schule) widerspiegeln. Denn bei der Klassen- und Kursbetrachtung fällt der Faktor Jahrgangstufe als einziger mit unterrichtlich bedeutendem Effekt nicht ins Gewicht.

2. Wie stark verändern sich die Vorstellungsinhalte und -häufigkeiten in der nächsten Zeit? Wie dauerhaft sind die gewonnenen Einblicke?

Eine Antwort auf diese Frage kann nur - da ein Blick in die Zukunft diesbezüglich unmöglich ist - durch einen Vergleich mit früheren Studien tendenziell gegeben werden. Da alle formulierten Grundvorstellungen und Vorstellungsgebäude in den zeitlich versetzt durchgeführten Begleitstudien zwischen 1993 und 1999 immer mehrfach, z.T. auch in allen Studien, bestätigt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit keine bloßen Momentaufnahmen darstellen, sondern auch auf mittelfristige Sicht ihre Bedeutung beibehalten.

3. Ab welcher Höhe der Auftrithäufigkeit und der Kontextflexibilität (Kf-Wert) gelten die ermittelten Vorstellungen als unterrichtlich relevant?

¹⁸ Im Rahmen dieser Arbeit wurden nur die beiden Schulformen Gymnasium und Gesamtschule verglichen. Ähnliche Ergebnisse wurden jedoch auch im Rahmen von Vorstudien zu dieser Arbeit bei Untersuchungen an Realschülern ermittelt (vgl. BURGER 1991; BULTEMEIER 1997). Wegen der übereinstimmenden Ergebnistendenzen und der in dieser Arbeit durchgeführten Faktorenanalyse liegt die Vermutung nahe, dass es auch in den nicht untersuchten Schulformen ähnliche Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" gibt. Die Begleitstudien von SCHMIDT (1993) und EICKHOFF (1993), in denen die Vorstellungen zum eingegrenzten Themenbereich "Photosynthese unter energetischen Aspekten" bzw. "Energiefluss im Ökosystem" an Haupt-, Real- und Gesamtschulen sowie Gymnasien im Bereich der Sekundarstufe I untersucht wurden, bestätigen diese Vermutung.

Die Bedeutung von Vorstellungen im Gruppenunterricht wird von der Anzahl der gleichzeitig zu unterrichtenden Schüler bestimmt. Bei einer angenommenen durchschnittlichen Lerngruppenstärke von 30 Schülern besteht ab einer Auftrittshäufigkeit von über (ca.) 3 Prozent eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass mindestens ein Schüler die entsprechende Vorstellung besitzt. Eine Bewertung, ab wie vielen Schülern in einer Klasse bzw. in einem Kurs mit einer bestimmten Vorstellung dieser entsprechende Inhalt bei der Planung und Durchführung von Lerngruppenunterricht berücksichtigt werden soll, ist schwierig. Verschiedene Kriterien werden in der unterrichtlichen Praxis beachtet werden müssen: Z.B. Art der Vorstellung (entscheidend oder weniger wichtig beim Verständnis der verfolgten Unterrichtsziele) oder die Charaktereigenschaften des "betroffenen" Schülers bzw. der "betroffenen" Schüler (ein dickköpfiger, wortstarker und sich häufig beteiligender Schüler kann mit seiner Vorstellung (z.B. Fehlvorstellung) den Unterrichtsgang deutlicher beeinflussen als ein stiller Schüler mit gleichem Vorstellungsinhalt), um hier nur zwei Kriterien exemplarisch zu umreißen. Im Rahmen dieser Arbeit wird die ideale Zielvorstellung, dass alle vor Unterrichtsbeginn bekannten und während des Unterrichts zutage tretenden Vorstellungsinhalte bei der Unterrichtsgestaltung vom Lehrer aufgegriffen werden sollten, berücksichtigt. Damit werden - insbesondere bei den praxisnahen Überlegungen in Kapitel 5 - diejenigen im Rahmen der Arbeit ermittelten Vorstellungen, die häufiger als bei 3 Prozent der Probanden aufgetreten sind, für unterrichtlich relevant eingeschätzt. Vorstellungsinhalte mit niedrigerer Auftrittshäufigkeit werden nur aus inhaltlichen Erwägungen, z.B. wenn ein stark korrespondierender Inhalt zu einer häufig aufgetretenen Vorstellung vorliegt, berücksichtigt.

Ebenfalls schwierig einzuschätzen ist anhand der errechneten Kf-Werte, ab welcher Höhe ein Vorstellungsinhalt als "kontextflexibel" gelten soll. Eine praxisrelevante Bewertung erscheint erst durch entsprechende Beobachtungen im unterrichtlichen Einsatz der ermittelten Vorstellungen möglich.

Für eine "Vorabwertung" im Rahmen dieser Arbeit werden für die unterrichtliche Planung Vorstellungen ab einem Kf-Wert von 4 als kontextflexibel erachtet. Der Wert 4 ergibt sich aus folgenden Überlegungen: Kontextflexibel ist eine Vorstellung dann, wenn sie mindestens in zwei unterschiedlichen Kontexten von einem Schüler angewandt wurde. In beiden Fragebögen gibt es zwei Fragen, die keinem festen Kontext zuzuordnen sind. Dies sind die Fragen A5/B3 "Versuche zu beschreiben, was Du Dir unter Energie vorstellst." und A11/B11 "Leben - Tod - Verwesung - Wärme - Energie - Ordnung. Versuche, mit diesen Wörtern einen kurzen zusammenhängenden Text zu schreiben.". Bei einem Kf-Wert von 4 ist die Wahrscheinlichkeit gegeben, dass ein Schüler bei der "Verwendung" einer Vorstellung in mindestens 4 Fragen diese Vorstellung in mindestens 2 verschiedenen Kontexten (durch die Fragestellung vorgegeben) und damit kontextflexibel benutzt hat.

(Vergleiche zur unterrichtlichen Bewertung der Werte "Auftrittshäufigkeit" und "Kontextflexibilität" auch die Ausführungen zu den nächsten drei Aspekten.)

Wie aussagekräftig sind die ermittelten Werte zur Auftrittshäufigkeit der Grundvorstellungen?

Anders gefragt: Konnten mit den Befragungen auch alle Vorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" erhoben werden, die mit Hilfe der Fragen bei den Probanden aktiviert wurden? Haben die Schüler alle Vorstellungen, die aktiviert wurden, auch in ihren Antwortsätzen tatsächlich zum Ausdruck gebracht bzw. für das Verständnis der Auswertenden zum Ausdruck bringen können?

Die Frage nach der Aussagekräftigkeit zu den Werten der Auftrittshäufigkeit der Grundvorstellungen kann auf Grundlage der vorliegenden Daten nicht abschließend beantwortet werden. Es gibt keine Möglichkeit zu bestimmen, ob die befragten Schüler jeweils alle fragerlevanten Vorstellungen, die ihnen plausibel erschienen, auch tatsächlich aufgeschrieben haben.

Eine Einschätzung der Daten wird jedoch dadurch ermöglicht, dass die Vorstellungen zur Frage "In welchen Bestandteilen der Nahrung steckt für den menschlichen Körper nutzbare Energie?" mehrfach ermittelt wurden. Entsprechende Ergebnisse liegen durch die aufgestellten Grundvorstellungen aus der Fragebogen- und Interviewstudie, durch den Multiple-choice-Test der Frage 2 im Bogen A und durch zwei Begleitstudien vor. In der Begleitstudie von BRIEST (1999) wurde ein ähnlicher Multiple-choice-Tests wie im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt. In der Begleitstudie von EICKHOFF (1993) sind bei einer Aufgabe mit freien Antwortmöglichkeiten die Vorstellungen der Schüler, in welchen Bestandteilen eines Kakao-Getränkes Energieträger enthalten seien, prozentual aufgeschlüsselt.

Zur besseren Vergleichbarkeit sind in der folgenden Tabelle 4-47 aus den angegebenen Untersuchungen (bis auf die Interviewstudie, die im Rahmen dieser Arbeit nur bei Gesamtschülern durchgeführt wurde) ausschließlich die Daten von Gymnasiasten zusammengefasst.

Tab. 4-47: Vergleich zwischen den Ergebnissen verschiedener Befragungen zu den Vorstellungen bezüglich energieliefernder Bestandteile der menschlichen Nahrung

| Inhaltsstoff | Untersuchungsmethode | Ergebnisse aus dieser Arbeit | | | | | | | Begleitstudien | |
|----------------------------------|----------------------|---------------------------------|------------|-------|--------------------------|------------|-------|-------|----------------|-----------------|
| | | Multiple-choice-Test | Fragebogen | | | Interview* | | | EICKHOF F 1993 | BRIEST 1999 |
| | Probanden | 56 aus Jg.5 und 224 aus der SII | | | 4 aus Jg. 5 u. 8 aus SII | | | 56 | 75 | |
| | | | GV 14 | GV 17 | GV 20 | GV 14 | GV 17 | GV 20 | | |
| Vitamine | Jahrgang 5 | 41 | 5 | 18 | 3 | 25 | 0 | 25 | 50 | 78 ⁺ |
| | Oberstufe | 13 | 0 | 2 | 0 | 37 | 13 | 13 | -- | 57 |
| | | | GV 74 | GV 18 | GV 74 | GV 18 | | | | |
| Mineralstoffe/ Spurenelemente | Jahrgang 5 | 35 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41 ⁺ |
| | Oberstufe | 14 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -- | 40 |

Erläuterungen zur Tabelle:

+ bedeutet: Die befragten Schüler stammen aus dem Jahrgang 7. Der Jahrgang 5 wurde nicht befragt.

* bedeutet: Die Prozentangaben sind der besseren Übersicht halber angegeben. Aufgrund der niedrigen Probandenzahl sind die ermittelten Werte wenig aussagekräftig.

-- bedeutet: Die entsprechenden Schüler wurden in dieser Studie nicht befragt.

Alle Angaben in Prozent ohne Kommastellen, gerundet.

In der Begleitstudie von BRIEST (1999) konnten die Schüler zu den vorgegebenen Nahrungsbestandteilen drei Kategorien ankreuzen: Nahrungsbestandteil enthält "sehr viel Energie", "viel Energie" und "keine Energie". Die Angaben der obigen Tabelle beziehen sich auf diejenigen Schüler, die eine der beiden ersten Kategorien angekreuzt haben. Da die Ergebnisse für die Nahrungsbestandteile "Mineralstoffe" und "Spurenelemente" getrennt erhoben wurden, sind sie zur Vergleichbarkeit mit den Daten der anderen Befragungen zusammengefasst.

Die Inhalte der Grundvorstellungen können im Anhang VI nachgeschlagen werden.

Die Daten der verglichenen Befragungen zeigen alle die *gleiche* Tendenz: Oberstufenschüler sehen im Vergleich zu Schülern der 5. bzw. 7. Jahrgangsstufe zu einem geringeren Prozentsatz Vitamine und Mineralstoffe/Spurenelemente als energieliefernden Bestandteil der menschlichen Nahrung an (Die Daten der Interviewstudie sind hierbei wegen der geringen Probandenanzahl nicht berücksichtigt.). Deutlich wird jedoch auch, dass die ermittelten Auftrittshäufigkeiten der Grundvorstellungen in den Multiple-choice-Tests in allen Fällen höher liegen als die Auftrittshäufigkeiten der entsprechenden Grundvorstellungen in der Fragebogenstudie. Die Ursache für diese Differenzen sind nicht eindeutig zu bestimmen. Einerseits wäre es möglich, dass die Schüler bei vorgegebenen Antwortmöglichkeiten eher dazu neigen, Aussagen zuzustimmen, die ihrer Ansicht nach nur eventuell stimmen bzw. "sich gut anhören" - eine Erfahrung, die im Rahmen dieser Arbeit in der Phase des Methodendesigns mit Multiple-choice-Tests gewonnen wurde (vgl. Kap. 4.5.2.1, S. 141). Andererseits erscheint auch die Überlegung überzeugend, dass bei freien Antwortmöglichkeiten - wie in der Fragebogenstudie - nicht alle themenrelevanten Vorstellungen von den Schülern zu Papier gebracht wurden: Das Ankreuzen von Antworten fällt leichter als das Formulieren eigener geeigneter Antwortsätze.

Da die Schüler in der Fragebogenstudie zumeist nicht direkt zu ihren Energievorstellungen befragt wurden, sondern die gestellten Aufgaben lediglich als Redeanlässe über Energie fungierten, ist eine weitere Ursache für die differierenden Ergebnisse denkbar: Die Schüler besitzen zwar die entsprechenden Vorstellungen; durch die spezielle Fragestellung bzw. durch das ausgewählte Alltagsphänomen wurden diese Vorstellungen jedoch nicht aktiviert. Aus der Sicht einer netzwerkartigen Wissensrepräsentation fehlten für die Aktivierung entsprechende assoziative Verknüpfungen.

Da alle drei Erklärungsansätze für die Differenzen in den Auftrittshäufigkeiten plausibel erscheinen, wird davon ausgegangen, dass die im Rahmen der *Fragebogenstudie ermittelten Werte zur Auftrittshäufigkeit jeweils die untere Grenze der tatsächlichen Auftrittshäufigkeit der einzelnen Grundvorstellungen* wiedergeben.

Auch wenn die Daten der Interviewstudie wegen der geringen Probandenanzahl wenig aussagekräftig sind, so deuten die Ergebnisse zum Nahrungsbestandteil "Vitamine" ebenfalls in die gleiche Richtung. Eine endgültige Klärung ist jedoch nur durch weitere Untersuchungen möglich.

Wie aussagekräftig sind die Daten zur Kontextflexibilität (Kf-Wert) der Grundvorstellungen?

Nicht zu jeder gestellten Frage kann von den Schülern erwartet werden, dass sie alle Aspekte zu "Energie im biologischen Kontext" (vgl. Tab. 4-15, S. 140) in ihren Antworten wiedergeben. Eine grobe Einschätzung, welche Aspekte nach der Planung des Fragebogens in welcher Frage angesprochen werden sollten, wurde durch die Zuordnung zu den drei Themenbereichen versucht.

Ähnlich wie bei der Einschätzung der ermittelten Werte zur Auftrittshäufigkeit der einzelnen Grundvorstellungen fällt auch die Bewertung der Werte zur Kontextflexibilität aus: Ein hoher Wert zur Kontextflexibilität zeigt, dass diese Vorstellung in verschiedenen Kontexten zur Deutung und Erklärung von Phänomenen genutzt wird. Grundvorstellungen mit hohen Kontextflexibilitätswerten werden deshalb dem Anspruch an eine *Grundvorstellung* im Sinne der Begriffsdefinition (vgl. Kap.4.2.3, S. 117) am ehesten gerecht. Grundvorstellungen mit einem niedrigen Kf-Wert (im Extremfall 1) können jedoch auch die Kriterien einer Grundvorstellung erfüllen. Möglich wäre, dass eine andere Fragenauswahl zu einer weiter verbreiteten Anwendung dieser Grundvorstellung geführt hätte. Der Kf-Wert ist deshalb im Rahmen dieser Fragebogenstudie nur ein hinreichendes, aber nicht notwendiges Kriterium für eine Grundvorstellung. Aus diesem Grund wurden auch

Vorstellungsinhalte, die nur innerhalb einer Frage zur Anwendung kamen, als Grundvorstellung bezeichnet.

Wie viele der gängigen Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" konnten durch die Untersuchung aufgedeckt werden?

Anders gefragt: Hätte durch die Auswahl anderer Fragen ein anderes, weiteres Spektrum an Vorstellungen gefunden werden können?

Die als Begleitstudien vor und während dieser Arbeit durchgeführten Erhebungen haben Schülervorstellungen mit einer Vielzahl unterschiedlicher Aufgabenstellungen, Fragen und Untersuchungsmethoden zu eingeschränkten Bereichen des biotischen Energieflusses untersucht (u.a. zu den Themen Energiefluss im Wald, in der Stadt, im Menschen; Beeinflussung des Energieflusses durch Wärme). Eine Ergänzung der im Rahmen dieser Arbeit formulierten Grundvorstellungen und Vorstellungsgebäude konnte dabei nur in einem einzigen Fall vorgenommen werden (vgl. Vorstellungsgebäude B1-5: Energie wird in Lebewesen amateriell transportiert.).

Dieses Ergebnis lässt die Vermutung zu, dass ein weites Spektrum verbreiteter Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" im Rahmen dieser Arbeit ermittelt werden konnte. Eine vollständige Ermittlung aller themenrelevanten Vorstellungen erscheint wegen der hohen Kontextflexibilität des Ausdrucks Energie kaum möglich.

Resümee:

Durch die Untersuchungen konnten Gemeinsamkeiten zwischen verschiedenen Schüleransichten zu "Energie im biologischen Kontext" herausgefunden und für die Planung von Unterricht eine tendenzielle Wichtung der Vorstellungsinhalte durch die Bestimmung ihrer Auftrittshäufigkeit und Kontextflexibilität geleistet werden. Bis auf das Vorstellungsgebäude B1-5: "Energie wird in Lebewesen amateriell transportiert", das konkret nur auf Grund der Aussagen von drei Schülern getragen wird, erscheinen alle anderen Vorstellungsgebäude durch die Daten dieser Studie und der neun Begleitstudien abgesichert. Unter Berücksichtigung der Überlegung, dass ein größerer Anteil der Schüler als der in der Fragebogenstudie ermittelte, Vorstellungen entsprechend der aufgestellten Vorstellungsgebäude besitzt, werden 16 der 17 Vorstellungsgebäude als unterrichtsrelevant eingeschätzt.

Eine Generalisierbarkeit der Vorstellungsgebäude auf alle Schüler der allgemeinbildenden Schulen im Bereich der Sekundarstufen I und II wird aufgrund der Faktorenanalyse als wahrscheinlich erachtet.

4.5.6.6 Vermutete Wissensquellen für aus wissenschaftlicher Sicht falsche Schülervorstellungen

Schüler konstruieren ihre Vorstellungen in gegebenen sozialen Kontexten - ob nun in der Schule oder im außerschulischen Alltag - über angemessenes Reden und Handeln (vgl. Kernaussage 3 (S. 58) und 4 (S. 60)). Daher ist zu vermuten, dass aus fachwissenschaftlicher Sicht richtige und falsche Schülervorstellungen prinzipiell auf gleiche Weise entstehen. Als Quellen für Vorstellungen gelten allgemein jegliche Art von Sinneserfahrungen, die im Umgang mit Dingen und Lebewesen entstehen, sowie Überlegungen ohne die Verarbeitung äußerer Sinneseindrücke. Eine besondere Rolle nehmen dabei die Spracherfahrungen ein: Insbesondere in der Schule, so stellten ESCHENHAGEN et al. (1998) fest, eignen sich Schüler im Laufe ihres Schullebens die Umgangs- und Ausdrucksweisen der einzelnen Fächer an. Beim schulischen Lernen wird demnach über eigene Konstruktionen und Konstruktionen Anderer verhandelt. Die Anderen sind dabei die Mitler-

nenden und der Lehrer mit seinen Unterrichtsmaterialien. Beim außerschulischen Lernen dürfte die Rolle des Lehrers durch z.B. ältere Personen wie Eltern, ältere Geschwister, andere Erwachsene oder durch Medien ersetzt werden.

Nachfolgend sind insbesondere die möglichen Quellen der aus wissenschaftlicher Sicht falschen Schülervorstellungen zusammengestellt. 51 der insgesamt 91 aufgestellten Grundvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" gehören zu diesen "Fehlvorstellungen" (vgl. die in Tabelle 4-20 (S. 165f) fett hervorgehobenen Grundvorstellungen).

Schon in den 80er Jahren konnte gezeigt werden, dass sowohl Schulbücher als auch der vorangegangene Unterricht allgemein als Quelle für derartige falsche Schülervorstellungen in Frage kommen (vgl. z.B. BARRAS 1984; SCHLETTER (1998) belegt diese Aussage u.a. durch Untersuchungen zum Aufbau von Nervenzellen). In Bezug auf Schulbücher als Quelle von Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" trifft diese Aussage jedoch nicht uneingeschränkt zu. So konnte z.B. bei einer Untersuchung von Schülervorstellungen zum Themenbereich "Wärme und Energieumwandlung bei Lebewesen" bei 309 Realschülern kein eindeutiger Zusammenhang zwischen den ermittelten Vorstellungsinhalten und den Inhalten der Schulbücher festgestellt werden (BURGER 1991).

Speziell für Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" erscheint das Auffinden der *konkreten* Quellen für einzelne Vorstellungsinhalte als schwierig. Die von MANDL et al. (1993) getroffene Unterscheidung zwischen Schul- und Alltagswissen trägt nicht, da diesbezügliches Wissen sowohl in der Schule durch Lehrmaterialien oder mündliche Äußerungen von Lehrern und Mitschülern als auch im Alltag durch z.B. Zeitschriftenartikel, Fernsehbeiträge oder durch Unterhaltungen mit Mitmenschen gewonnen werden kann. BOYES (1990) stellt fest: "Furthermore, the media wick use such vocabulary in a colloquial sense, particularly television and advertising, can exert a powerful, if subliminal, effect on children's use of language and thinking." Auch hierzulande scheint die Werbung einen deutlichen Effekt auf die Vorstellungen der Schüler zu haben. Wohl nur so ist es zu erklären, dass knapp 30 Prozent aller befragten Schüler Vitamine und Mineralstoffe/Spurenelemente als für den Menschen nutzbare Energiequellen angeben (vgl. Kap 4.5.5.2, S. 169). Dass die Informationen zu Energie wie z.B. "Vitamine und Mineralstoffe/Spurenelemente geben uns Energie" logisch weiter mit anderen Informationen verknüpft werden, belegt die Aussage von Schülern, dass die Energie von Obst hauptsächlich in der Schale zu finden sei. Hier scheint die oft von Erwachsenen an ihre Kinder weitergegebene Weisheit, dass die Schale von Obst wegen der Inhaltsstoffe besonders gesund sei, mit der Wissenseinheit aus der Werbung zu einer neuen Vorstellung verknüpft zu sein.

Aber auch der nicht korrekte Umgang mit der Energiethematik in populärwissenschaftlichen Berichterstattungen wird einen Beitrag zu den aufgezeigten Schülervorstellungen leisten. Die sprachlichen Ungenauigkeiten reichen von der "Energiegewinnung" im Kraftwerk und dem "Energieverbrauch" der Haushalte bis hin zu Aussagen in "Fachzeitschriften". So heißt es z.B. in der Überschrift zu einem Artikel über Kunstdünger: "Wir geben der Pflanzen die Energie, die sie zum Wachsen braucht" (NITZSCHMANN 1997).

Nur in wenigen Fällen kann ein direkter Zusammenhang zwischen Unterricht und Schülervorstellung durch die Ergebnisse dieser Arbeit als (relativ) gesichert angesehen werden. Die beiden GV 21 "Nahrungsbestandteile selbst sind für die Bildung von ATP (Energiespeicher) nötig." und GV 22 "ATP ist eine energiereiche Verbindung - in ATP ist Energie gespeichert." können aufgrund des in der Alltagssprache kaum verwendeten Fachbegriffs "ATP" direkt mit Unterrichtsinhalten in Verbindung gebracht werden. Beide Grundvorstellungen treten bei Schülern der Sekundarstufe I nicht auf. Erst Schüler der Sekundarstufe II, die die entsprechenden Zusammenhänge u.a. im

Themenbereich Stoffwechselfysiologie in der Oberstufe laut Richtlinien (vgl. Kap. 5) erstmals behandeln, nutzen in ihren Antworten den Ausdruck. Auch die GV 26 "Energie geht nie verloren.", GV 39 "Energie ist nicht mit Sinnen fassbar" und GV 47 "Alle Energie endet in/wird zu Wärme.", die nicht in Antworten von 5.-Klässlern auftreten und die eine Behandlung des Themas Energie in naturwissenschaftlichen Zusammenhängen nahe legen, lassen einen direkten Einfluss des Schulunterrichts vermuten.

Eine weitere Quelle könnte für einen Teil der wissenschaftlich nicht korrekten Schülervorstellungen in unzulässigen Vergleichen von Erfahrungen mit dem eigenen Körper liegen. So erscheint die Fehlvorstellung, dass Pflanzen ihre Energie zum Wachsen in Form von Materie aufnehmen - entweder in Form von Mineralstoffen oder/und Wasser aus dem Boden oder durch den Sauerstoff oder/und das Kohlenstoffdioxid aus der Luft - einleuchtend; denn auch der Mensch kann sich die für ihn nutzbare Energie nur durch Nahrungsaufnahme zuführen.

Ein weiteres Beispiel dafür, dass Erfahrungen am und mit dem eigenen Körper unzulässigerweise als Analogie zu wissenschaftlichen Phänomenen herangezogen werden, scheint bei der Vorstellung "Lebewesen nehmen ihre Energie von der Sonne in Form von Wärme auf." zum Tragen zu kommen. Hier wird wohl die Erfahrung, dass Wärme Reaktionen beschleunigt (z.B. das Auflösen von Zucker in Getränken) oder zum Wohlgefühl (Wärmflasche) und zur Leistungsfähigkeit beiträgt (das Aufwärmen beim Sport), auf Phänomene in der pflanzlichen und tierischen Umwelt übertragen.

4.5.6.7 Vergleich der Ergebnisse mit ähnlichen Erhebungen

Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" wurden - wie in Kapitel 4.1 (S. 112) angedeutet - in Deutschland und im nicht deutschsprachigem Ausland untersucht. Im folgenden Vergleich der Ergebnisse sind themenrelevante Untersuchungen außer den bereits vorgestellten 9 Begleitstudien und den erwähnten Assoziationsbefragungen zu Energie (vgl. Kap. 4.4.2, S. 122) einbezogen.

Anmerkung: Im vielen der analysierten Arbeiten sind Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" nur am Rand ermittelt worden. Entsprechende Daten wie etwa Angaben, wie viele der befragten Probanden bestimmte Vorstellungen besitzen, sind deshalb in diesen Veröffentlichungen nicht immer detailliert ausgewiesen, so dass nachfolgend zumeist ausschließlich qualitative Aussagen der entsprechenden Arbeiten aufgeführt werden können.

Vorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" liegen vor allem zum Themenbereich C "Aufnahme und Abgabe von Energie in Organismen" vor:

HILGE (1999) führte zur Klärung von Schülervorstellungen zu Mikroorganismen und mikrobiellen Prozessen Interviews mit Oberstufenschülern durch. Sie stellte fest, dass der Terminus Energie im Zusammenhang mit "Energiegewinnung" bei Mikroorganismen durch Aufnahme von Substrat von den befragten Schülern kaum genutzt wird. Ein ähnliches Ergebnis ergab sich bei der vorliegenden Studie bei der Frage "Wenn wir Hunger haben, essen wir etwas - das ist bekannt. Aber warum genau braucht unser Körper eigentlich Nahrungsmittel?" (Frage A 1). Nur 21 Prozent der Schüler zogen hier eine Verbindung zwischen Nahrung/Nährstoffen und ihrer Funktion der Energiezuführung.

Dass "Energie" und "Nahrung von Lebewesen" im Zusammenhang stehen, wurde auch durch Untersuchungen von ANDERSON et. al. (1990), EISEN (1988) und NICHOLLS (1993) bestätigt: 50 Prozent der von ANDERSON et al. untersuchten College-Schüler und 40 Prozent der Hauptfach-

Biologie-Studenten und 27 Prozent der Nebenfach-Biologie-Studenten, die von EISEN befragt wurden, zogen diese Verbindung. NICHOLLS fand diese Assoziation ebenfalls bei Jugendlichen im Alter der Sekundarstufe I. BOYES (1990) ermittelte bei seiner Untersuchung an 1130 Schülern der secondary schools im Alter zwischen 11 und 16 Jahren des Weiteren die Vorstellungen, dass Tiere ihre Energie über den Schlaf, Wasser, Wärme und Luft (jeweils zwischen 20 und 35 Prozent Nennhäufigkeit) aufnehmen. Im Gegensatz zu den zuvor genannten Untersuchungen, in denen die Schüler frei antworten konnten, hatte BOYES jedoch die genannten "Energiequellen" vorgegeben und die Probanden über Ankreuztests entscheiden lassen, welche Antworten ihrer Meinung nach zutreffend seien. Ein Vergleich - auch zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit - ist deshalb nur eingeschränkt möglich.

Weitere Schülervorstellungen speziell zur Aufnahme von Energie in Organismen wurden durch Untersuchungen zum Themenbereich Stoffwechsel, insbesondere durch Studien zur Photosynthese ermittelt. Dabei wurde die Existenz des Vorstellungsgebäudes C-4 "Pflanzen nehmen ihre Energie zum Leben wie tierische Organismen an Materie gebunden (aus dem Boden (u.a. mit Wasser, Nährstoffen) oder durch Gase in der Luft) auf." mehrfach bestätigt:

In einer Studie an Schülern verschiedener Jahrgangstufen in den USA konnten WANDERSEE et al. (1994) zeigen, dass viele Schüler vermuten, Pflanzen beziehen ihre Nahrung aus der Erde oder/und aus dem Wasser. Der Anteil der Schüler, der für "Erde als Nahrungsquelle" votierte, stieg in den höheren Jahrgangstufen an, während die Schüler, die "Wasser" für ein energielieferndes Nahrungsmittel halten, mit zunehmendem Alter der Schüler abnahm. Diese Tendenz bezüglich der Vorstellung "Wasser ist Energielieferant" konnte auch in der vorliegenden Studie beobachtet werden (vgl. Abb. 4-6, S. 165).

Die geschilderte Beobachtung WANDERSEES et al. wurde durch die Untersuchungen von ANDERSON et al. (1990), BELL (in CLIS 1987), BOYES (1990), SIMPSON (1982) und SCHUBERT (1991) bestätigt. Als eine wichtige Vorstellung wurden in allen Studien der heterotrophe Charakter, den die Schüler den Pflanzen zuordnen, hervorgehoben.

Auffällig bei der Befragung SCHUBERTs an Schülern der 9. Jahrgänge ist der mit 90 Prozent sehr hohe Anteil derjenigen, die Wasser als einen (energieliefernden) Nährstoff für Pflanzen ansehen.

In den Untersuchungen von ANDERSON et. al. und SIMPSON wurde des Weiteren ermittelt, dass Schüler Dünger als Energiequelle für Pflanzen ansehen: 30 Prozent der von SIMPSON befragten Jugendlichen aus 8. und 10. Klassen und 90 Prozent der von ANDERSON et al. befragten College-Schüler vertraten diese Meinung.

BOYES (1990) fand zusätzlich die Vorstellung, dass Pflanzen ihre Energie über den Wind (zwischen 1 und 3 % der Schüler) und Tiere (um 5 % der Schüler) erhalten. Die weiter ermittelten "Energiequellen" Sonne, Luft, Erde und Wasser wurden auch in der vorliegenden Studie in verschiedenen Grundvorstellungen als häufige "Energiequellen" charakterisiert.

ANDERSON et. al. (1990) stellten weiterhin fest, dass zwar 17 Prozent der befragten College-Schüler die Vorstellung äußern "Pflanzen produzieren ihre Nahrung selber.", jedoch gleichzeitig nur 2 Prozent der Meinung sind, "Pflanzen nehmen ihre Nahrung nicht durch die Wurzeln auf.". Der sich hier abzeichnende Widerspruch scheint durch die bloße Addition neuen schulischen Wissens (Pflanzen produzieren ihre Nahrung selber.) zu den bereits vorhandenen Alltagsvorstellungen (Pflanzen nehmen ihre Nahrung mit den Wurzeln auf.) verursacht zu sein. Eine ähnliche Qualität der Widersprüche, die durch das bloße Addieren neuen Wissens gekennzeichnet ist, ergab sich im Rahmen der vorliegenden Arbeit bei der Analyse der Kreuzmatrix aller Grundvorstellungen (vgl. Kap. 4.5.6.2, S. 197).

Zum Themenbereich A "Vorstellungen zu Energie in Organismen" wurden in dieser Arbeit zwei wesentliche Vorstellungsgebäude ermittelt: A1-1 "Energie ist etwas "Stoffliches." und A1-2 "Ener-

gie ist etwas Abstraktes, eine Eigenschaft, die Lebewesen besitzen können.". Beide Vorstellungsinhalte werden durch die Ergebnisse anderer Untersuchungen bestätigt: In der Studie von STAVY et al. (1987) zum Verständnis der Photosynthese wurde festgestellt, dass 45 Prozent der befragten 13- bis 15-jährigen Schüler Energie als etwas Materielles ansehen. SOLOMON (1987) dagegen fand bei den befragten Schülern im Alter der Sekundarstufe I die Auffassung "Energy: the ghost in the body." und damit eine Bestätigung des Vorstellungsgebäudes A1-2. Die Untersuchungen GAYFORDs (1986b) belegen ebenfalls beide Vorstellungsgebäude.

In der Befragung von BARAK et. al. (1997) an 76 high school seniors im Alter von 17 Jahren (und 28 high school Biologie-Lehrern) wurden beide Verständnisse zu Energie im biologischen Kontext untersucht. Ermittelt wurde, ob die Befragten in biologischen Zusammenhängen zu Aspekten wie "Bestandteile der Zellen wie "ATP"", "Prozessen wie "Wachstum"" oder "Gesetzmäßigkeiten zur Energie wie "Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik"" eine eher wissenschaftliche oder eine eher "vitalistische" Sichtweise von Energie besitzen (Energie als "vital force"). Es zeigte sich, dass die befragten Schüler allgemein eher eine "vitalistische" Sichtweise vertraten: "Biological processes like respiration, enzyme synthesis, etc., cannot be explained by chemical and physical terms.". Genauere Angaben, wie die Befragten sich die "vital force" vorstellen, wurden nicht gegeben.

Die zum Themenbereich B "Umwandlung, Vorkommen, Speicherung und Transport von Energie in Organismen" aufgestellten Vorstellungsgebäude wurden bis auf die Gebäude B1-1 "Energie ist in Biomasse an bestimmten Orten." und B2-3 "Energie wird dort umgewandelt, wo Energie gespeichert ist bzw. wo das mit Sinnen wahrnehmbare "Folgeprodukt" der Energie (z.B. Bewegung, Wärme) gebraucht wird." in den analysierten Untersuchungen bestätigt. Insbesondere in den bereits erwähnten Arbeiten zum Thema Photosynthese wurden die Inhalte "Energie entsteht in Lebewesen" (B1-2), "Energie wird in Organismen transportiert" (B1-4 und B1-5) und "Energie wird in Lebewesen umgewandelt und verbraucht" (B2-1) durch entsprechende Schülervorstellungen gestützt.

Hinweise über Schülervorstellungen zum Themenbereich "Vorstellungen zu Energie" - ohne die Einschränkung "in Organismen" - finden sich in Veröffentlichungen aus dem Bereich der Chemie und Physik. In vielen Untersuchungen konnte dabei die Existenz des Vorstellungsgebäudes A1-1 "Energie ist etwas "Stoffliches"." nachgewiesen werden. Für den Bereich der Physik wird über derartige Schülervorstellungen u.a. in den Arbeiten von DUIT (1986), SOLOMON (1983), SCHENK (1982) und BOOK & DRIVER (1984) berichtet. Bereits 1980 formulierten JENELTEN-ALLKOFER & DUIT: Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass "schon recht früh eine Vorstellung bei den Schülern vorhanden zu sein (scheint), die man als Wurzel für die Mengenartigkeit der Energie ansehen kann.". Dieses rudimentäre Energieverständnis wird mit steigendem Alter um die Aspekte der Übertragbarkeit und Umwandelbarkeit erweitert. Nur bei einigen älteren Schülern sind Ansätze eines abstrakten Energiebegriffs im Sinne der physikalischen Definition zu finden.

Die aufgezeigten Tendenzen werden durch die Befragungen der vorliegenden Arbeit auch für den Bereich der Biologie bestätigt: Die Vorstellung, dass Energie etwas "Stoffliches" mit mengenartigem Charakter sei, kann u.a. durch die GV 5 "Energie ist etwas "Stoffliches"." bereits im 5. Jahrgang mit einer Auftrittshäufigkeit von 26 Prozent nachgewiesen werden. Der Aspekt der Energieumwandlung - in dieser Arbeit u.a. durch die GV 10 repräsentiert: "Energie kann umgewandelt werden (z.B. von einer Form in eine andere Form) - es gibt verschiedene Energieformen." - tritt in der 5. Jahrgangsstufe erst mit einer Auftrittshäufigkeit von 12 Prozent auf und steigert sich bis zu 50 Prozent bei Schülern der gymnasialen Oberstufe. Der aus naturwissenschaftlicher Sicht wichtige Aspekt des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik "Energie kann weder erzeugt noch ver-

nichtet werden." (GV 26: "Energie geht nie verloren.") findet sich erst bei Schülern ab der 8. Jahrgangsstufe. Die geringe Auftrittshäufigkeit von 2,4 Prozent steigert sich bei Oberstufenschülern lediglich auf 5 Prozent¹⁹.

Vergleicht man allgemein die Vorstellungen, die Schüler zu "Energie im biologischen Kontext" haben, mit denen, die Schüler in physikalischen und chemischen Kontexten in verschiedenen Untersuchungen geäußert haben, so lässt sich eine weite Übereinstimmung feststellen:

TRUMPER (1997) fasst unter Rückgriff auf Studien von VIENNOT (1979), SCHMID (1982), GILBERT & WATTS (1983), WATTS (1983), DUIT (1984) und TRUMPER (1990) weit verbreitete Vorstellungen, Verständnisse und Missverständnisse zu Energie zusammen. Alle nachfolgend aufgeführten Aspekte sind dabei direkt durch Formulierungen in den KSA, Grundvorstellungen oder Vorstellungsbauwerken bzw. durch logische Verknüpfungen derselben belegt:

- Energie wird mit Menschen in Verbindung gebracht.
- Einige Dinge haben Energie und verbrauchen sie.
- Energie ist ein "schlafender" Bestandteil innerhalb von Dingen.
- Energie ist eine offensichtliche Aktivität.
- Energie ist das Nebenprodukt eines Vorgangs.
- Energie kann übertragen werden.
- Die physikalischen Begriffe "Energie" und "Kraft" werden synonym verwendet.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung stützen damit die bereits veröffentlichten Erkenntnisse über Schülervorstellungen zu Energie und ergänzen sie um Aspekte, die speziell im Bereich der Biologie zu beobachten sind (insbesondere zum Themenbereich C "Aufnahme und Abgabe von Energie bei Organismen").

¹⁹ Zu beachten ist, dass die genannten Prozentwerte lediglich widerspiegeln, wie häufig die entsprechende Vorstellung bei der Fragebogenuntersuchung aufgetreten ist. Möglich ist, dass auch weitere Schüler den Vorstellungsinhalt besitzen (vgl. Diskussion in Kap. 4.5.6.5, S. 205).

5 Leitlinien zu konstruktivistischem Biologieunterricht unter besonderer Berücksichtigung der Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext"

In diesem Kapitel werden Konsequenzen zur Unterrichtsgestaltung aufgezeigt und in Form *schulpraxisnaher Leitlinien* zusammengefasst, die aus dem inhaltlichen und methodischen Ansatz dieser Arbeit zur Effizienzsteigerung von Biologieunterricht erwachsen¹. Die Aussagen der Leitlinien basieren einerseits auf den dargelegten Informationen zu "Energie im biologischen Kontext" (Kap.2), auf den Gedankengängen zum Konstruktivismus, auf den erläuterten Kenntnissen der Wissenspsychologie und den sich daraus ableitenden Überlegungen zu konstruktivistisch gestaltetem Wissenserwerb im Unterricht (Kap. 3) sowie auf den konkret ermittelten Schülervorstellungen (Kap. 4) zu "Energie im biologischen Kontext". Andererseits basieren sie auf den eigenen achtjährigen Unterrichtserfahrungen im Biologieunterricht in den Sekundarstufen I und II an einem Gymnasium und einer Gesamtschule, den Erfahrungen, die während der neun Begleitstudien

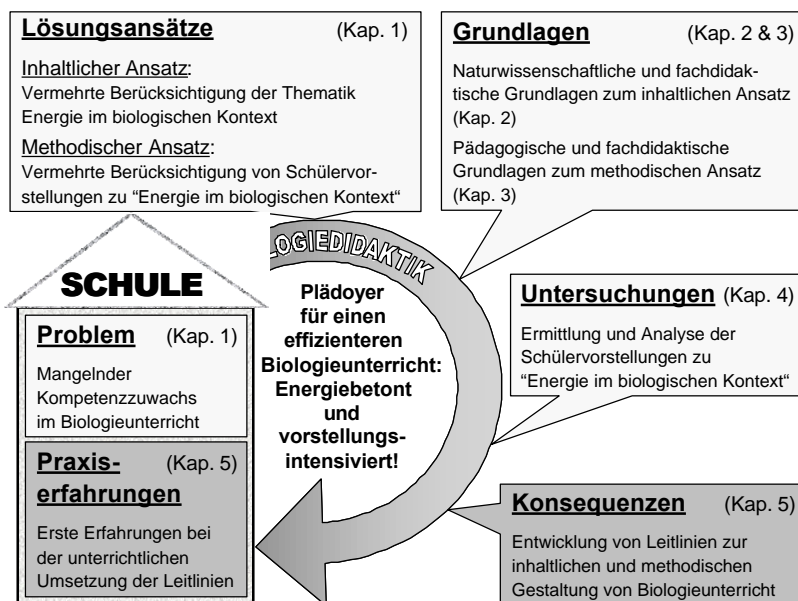


Abb. 5-1: Gliederung der Arbeit (aktuelle Position markiert)

von den durchführenden Examenskandidaten unserer Arbeitsgruppe "Schülervorstellungen im Biologieunterricht" und den hospitierenden Lehrern gesammelt wurden, sowie auf den Erfahrungen meiner Kollegen beim Anwenden der Leitsätze und ihren themenbezogenen Diskussionsbeiträgen.

¹ Eine zentrale Frage des schulischen Lehrens und Lernens ist die Auswahl des zu vermittelnden Wissens. EGGERSDORFER (1930) weist bereits Anfang der dreißiger Jahre auf das bei der Auswahl grundlegende Problem hin: "(...) der planmäßige Unterricht hat es mit einer derartigen Fülle von Fächern und Stoffen zu tun, daß gefragt werden muß, wie aus diesem Chaos von Einwirkungen die Einheit persönlicher Bildung entstehen soll.". Da die Menge des von der Menschheit angehäuften Wissens ständig wächst (vgl. Kap. 2.2.1.3, S. 35), bleibt die Diskussion über Unterrichtsinhalte, um das drohende "Chaos von Einwirkungen" zu verhindern, stets aktuell. Doch nicht nur zusätzliches Fachwissen zwingt zu einer immer wieder neuen Zusammenstellung der Inhalte und Methoden des Unterrichts. Auch das in den letzten Jahren vermehrt angesammelte Wissen über die Wissensrepräsentation im menschlichen Gehirn und über die menschliche Wissensaufnahme, Wissensverarbeitung und Wissensanwendung beim Denken, Entscheiden und Handeln führt zu neuen Schwerpunkten bei der Auseinandersetzung über Art und Inhalte von Schulunterricht. Eine diesbezüglich aktuelle Zusammenfassung zur Wissensvermittlung und zum Wissenserwerb aus dem Gebiet der Wissenspsychologie findet sich bei REINMANN-ROTHMEIER & MANDL (1998).

Anmerkung zur Auswahl des Begriffs "Leitlinie" und zur Tragweite der aufgestellten Leitlinien

Das Wissen über Schülervorstellungen kann sinnvoll zur inhaltlichen und methodischen Gestaltung von Unterricht eingesetzt werden, wenn die Vorstellungsinhalte *wiederholt* auftreten. Stetig neue Schülervorstellungen würden eine Planung von Unterricht auf der Basis von Vorstellungen deutlich erschweren oder gar unmöglich machen. Die Voraussetzung sich wiederholender Schülervorstellungen ist bei dem Thema "Energie im biologischen Kontext" erfüllt: Wie in Kapitel 4 dargelegt, wird die Auftrittshäufigkeit der zum Thema Energie ermittelten Schülervorstellungen von keinem der untersuchten Faktoren in einem für Schulunterricht relevanten Maße beeinflusst (vgl. Kap. 4.5.5.2, S. 169). Die gewonnenen Einsichten zu den Inhalten der Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" können deshalb uneingeschränkt in allen Lerngruppen der Sekundarstufen I und II unabhängig von der Klassen- bzw. Kurszusammensetzung eingesetzt werden.

Prinzipiell können die ermittelten Schülervorstellungen dabei auf zwei Wegen den Unterrichtsgang aus Sicht des Lehrers beeinflussen:

1. Die Kenntnis über die Inhalte von Schülervorstellungen (hier die Kenntnisse über die Inhalte der 91 Grundvorstellungen und der übergreifenden 17 Vorstellungsgebäude, vgl. Kap. 4.5.6.1, S. 176f) kann dem Lehrer in Unterrichtssituationen *spontan* helfen, Äußerungen und Verhalten von Schülern besser zu verstehen. Darüberhinaus sollten durch eine gesteigerte Sensibilität für bestimmte Zusammenhänge Missverständnisse häufiger festzustellen und nachhaltig zu beseitigen sein.
2. Die Inhalte der Schülervorstellungen können im voraus für die Planung genutzt werden, um Unterrichtsstunden auf der Grundlage der bekannten Vorstellungen inhaltlich und methodisch vorzustrukturieren (vgl. Strategie 3, S. 223 und Strategie 4, S. 229).

Praxisnahe Literatur zu konstruktivistischem Unterricht fehlt in der Biologie

"Wie aber entfaltet sich konkret ein Unterrichtsgeschehen, in dem an und mit den Konzepten von Schülerinnen und Schülern gearbeitet wird (...)" (LANGLET 1999) Diese Frage bleibt nach LANGLET bis auf GERHARDT & BURGER (1997) für die Biologie im deutschsprachigen Sprachraum unbeantwortet. Eigene Literaturrecherchen zeigen, dass es im Fachbereich Biologie zwar eine Ansammlung aktueller Untersuchungen zu Schülervorstellungen und ihren theoretisch gefolgerten Konsequenzen für den Unterricht gibt (z.B. HILGE 1999; GROPEGIEBER 1997) und auch aktuelle Werke zu allgemein konstruktivistischem Unterricht vorliegen (z.B. SIEBERT 1999; KLEIN & OETTINGER 2000). Schulpraxisnahe Beiträge zur konkreten Unterrichtsgestaltung bzw. Veröffentlichungen über den Erfolg eines diesbezüglich konstruktivistisch gestalteten Unterrichts liegen aber nicht vor (erste Tendenzen in SCHLETTER 1998).

Die im Folgenden ausformulierten

Leitlinien zum inhaltlichen und methodischen Umgang mit den Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" sind aus denjenigen *eigenen Praxiserfahrungen* erwachsen, die zumeist beim Vermitteln *verschiedener* Unterrichtsinhalte *wiederholt* aufgetreten sind. Deshalb können die gegebenen Ratschläge als *übergreifende* Gestaltungshilfen für den praktizierenden Lehrer gelten.

Bei den Erläuterungen zu den Leitlinien ist darauf geachtet worden, dass die bei der Anwendung der Leitlinien gesammelten Erfahrungen stets so konkret beschrieben werden, dass die daraus resultierenden Konsequenzen von Kollegen möglichst leicht in ihrem eigenen zukünftigen Unterricht umgesetzt werden können (vgl. auch Textbox).

Ziel dieses Kapitels ist es trotz einiger konkreter Unterrichtsbeispiele *nicht*, fertige Unterrichtsmaterialien und Stundenverläufe vorzustellen, wie sie z.B. bei BURGER (1994) in Bezug auf einen Oberstufenkurs Biologie zum Thema Photosynthese zu finden sind. Derartige Unterrichtsmaterialien müssten direkt an die zu unterrichtende Lerngruppe, u.a. an das bisher vermittelte Wissen, an die Leistungsbereitschaft und an schulorganisatorische Voraussetzungen (wie z.B. die materielle

Ausstattung der Fachräume) angepasst sein. Des Weiteren müssten sie auch die konkreten fachlichen Voraussetzungen der Lerngruppe für den jeweiligen Unterrichtsinhalt berücksichtigen, da energetische Inhalte im Biologieunterricht in der Regel nicht losgelöst vom übergreifenden Inhalt, sondern in Zusammenhang mit ihm thematisiert werden (energetische Aspekte können u.a. laut Lehrplänen (vgl. Kap. 2.2.2.1, S. 38) z.B. bei Stoffwechselprozessen oder ökologischen Zusammenhängen besprochen werden). Da die angesprochenen Informationen zur Ausarbeitung konkreter Unterrichtsmaterialien nicht vorliegen bzw. nicht vorliegen können, beschränken sich die folgenden Ausführungen auf übergreifende allgemeingültige Hinweise zur Unterrichtsgestaltung.

5.1 Einflüsse auf die Unterrichtsgestaltung durch den methodischen Ansatz: Vermehrte Berücksichtigung von Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext"

In Hinblick auf die in Kapitel 3.2 (S. 91f) dargestellten fachdidaktischen Grundlagen zum methodischen Ansatz dieser Arbeit sind zur Veränderung der vorunterrichtlichen Schülervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht vier Strategien ausgearbeitet worden (ausführliche Erläuterungen ab S. 220). Diese vier Strategien stellen übergeordnete theoretische Überlegungen zum Umgang mit Schülervorstellungen dar und sind deshalb nicht allein auf die Berücksichtigung der speziellen Vorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" beschränkt. Wohl aber sind die vier Strategien erst durch die *unterschiedliche unterrichtliche Anwendbarkeit* der ermittelten Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" nötig geworden.

In Hinblick auf unterrichtliche Anwendbarkeit ist zwischen den aus fachwissenschaftlicher Sicht richtigen und falschen Schülervorstellungen zu unterscheiden. Die fachlich richtigen Vorstellungsinhalte können im Sinne der Anknüpfungsmodelle Ausgangspunkt für neues Wissen sein (vgl. S. 106f). So kann etwa die Grundvorstellung 13 "Energie wird zwischen Lebewesen und ihrer Umwelt ausgetauscht." für die Entwicklung einer fachwissenschaftlich richtigen Vorstellung zum Energiefluss in Ökosystemen herangezogen werden. Ein derartiger unterrichtlicher Einbezug von Schülervorstellungen wird in Strategie 1 beschrieben.

Die weiteren Überlegungen berücksichtigen die fachlich falschen Schülervorstellungen, die zu Lernschwierigkeiten führen können und so einem effizienten Biologieunterricht entgegenstehen. Um solche Fehlvorstellungen in ihrer Gültigkeit zu relativieren oder durch richtige Vorstellungen zu ersetzen bzw. zu ergänzen, sind in der Literatur Konzeptwechselmodelle entwickelt worden (vgl. S. 106f). Zentraler Ansatz ist hierbei das Initiieren eines kognitiven Konflikts, um den Lernprozess zu ermöglichen. Auch wenn die zu Konzeptwechselmodellen gesichtete Literatur es nicht explizit herausstellt, so wird im Rahmen dieser Arbeit aufgrund eigener Praxiserfahrungen betont (in Anlehnung an MEYER 1993), dass die kognitiven Konflikte *möglichst* handlungs- und problemorientiert, etwa durch praktisches Handeln des Lernenden im Experiment oder in der Modellanwendung, und weniger durch theoretische Überlegungen aufgebaut werden sollten. Ein diesbezüglich handlungsorientierter Unterricht berücksichtigt besonders die didaktisch relevanten Kernaussagen des Konstruktivismus (vgl. S. 54f, konstruktivistische Didaktiken, wie z.B. SIEBERT 1999, sowie die Erläuterungen zu den Strategien 2 und 3, S. 221f).

Die ermittelten Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" unterscheiden sich jedoch darin, dass sie im Rahmen kognitiver Konflikte von den Schülern altersgerecht, z.B. in Experimenten oder beim Arbeiten mit Modellen, *durch aktives Handeln* überprüft werden können oder nicht. Entsprechend der Möglichkeit, wie gut die Überprüfung einer Vorstellung durch aktives Handeln im kognitiven Konflikt im Gegensatz zu bloßem verbalen logischen Schlussfolgern ohne

kognitiven Konflikt im Unterrichtsgespräch möglich ist, sind für in diesem Sinne überprüfbar und nicht überprüfbar Vorstellungen die Strategien 2 und 3 (S. 221f und S. 223f) entwickelt worden. Eine Nicht-Überprüfbarkeit von Fehlvorstellungen durch aktives Handeln im kognitiven Konflikt kann zwei Ursachen haben. Zum einen ist es möglich, dass der unterrichtende Lehrer keinen Versuchsaufbau findet, der für den Einsatz im Schulunterricht geeignet wäre, um den Inhalt der Fehlvorstellung angemessen in einem kognitiven Konflikt zu thematisieren (vgl. Beispiel S. 223f). Zum anderen können schul- und unterrichtsorganisatorische Gründe ein aktives Handeln im kognitiven Konflikt verhindern. Solche Gründe sind etwa das Fehlen von Unterrichtszeit für Experimente (Vorbereitung, Durchführung, Auswertung) und Modellanwendungen oder etwa technische Probleme bei Versuchsaufbauten, die für die Möglichkeiten der Sammlung zu komplex oder für die Schüler zu gefährlich sind.

Beide Ursachen für eine mangelnde Überprüfbarkeit einer Fehlvorstellung durch aktives Handeln im kognitiven Konflikt sind nicht fest vorgegeben, so dass es nicht möglich ist, einen Vorstellungsinhalt statisch einer der beiden Strategien 2 oder 3 zum unterrichtlichen Umgang mit Fehlvorstellungen zuzuordnen.

Eine vierte Strategie (S. 229) zum Umgang mit Fehlvorstellungen ergibt sich schließlich daraus, dass von den ermittelten Schülervorstellungen diejenigen im Unterricht nicht thematisiert werden, die bei Schülern zu möglichen Lernschwierigkeiten führen.

Die vier Strategien werden in ihrer Bedeutung für die Effizienzsteigerung im Biologieunterricht bezogen auf die konkreten Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" unterschiedlich bewertet. Anhand von theoretischen Überlegungen und eigenen Unterrichtserfahrungen werden nachfolgend insbesondere die Strategien 3 und 4 als praxisgerecht hervorgehoben.

1. Strategie: Fachlich richtige Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" im Unterricht aktiv zum Anknüpfen von neuen Wissensinhalten nutzen. (Effektiveres Lernen durch Verankern von neuem Wissen in fachlich richtigem und damit kontextflexiblem Vorwissen)

Das Einbeziehen von fachlich richtigen Schülervorstellungen in den Lernprozess gehört zu den grundlegenden Abläufen im Unterricht. Schüler berichten von ihren Erlebnissen und Erfahrungen und konstruieren durch den Unterricht auf Grundlage des Vorwissens neue Wissensstrukturen (vgl. Textbox). Bei der Aktivierung richtiger Vorstellungsinhalte sind jedoch keine Lernbehinderungen zu erwarten, wie sie beim Rückgriff auf fachlich falsche Vorstellungen auftreten können. Aus diesem Grund werden bei der Formulierung der Leitlinien für den methodischen und inhaltlichen Umgang mit Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" vermehrt die ermittelten Fehlvorstellungen berücksichtigt. Auf die fachlich korrekten Vorstellungsinhalte wird nur am Rande eingegangen.

Das Zimmer aufräumen und damit das Schaffen von Ordnung ist ein Vorgang, den Schüler aus ihrer eigenen Erfahrung heraus als "energieaufwändig" charakterisieren. An den Zusammenhang "Ordnung schaffen braucht Energie" kann zum Ausbilden eines naturwissenschaftlichen Energieverständnisses angeknüpft werden (vgl. Anknüpfung- und Umdeutungsmodelle, S. 106f)

**2. Strategie: Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" durch im Unterricht initiierte kognitive Konflikte thematisieren.
(Effektiveres Lernen durch Hervorheben und Bewerten von Vorstellungen durch aktives Handeln)**

In Anlehnung an die vorgestellten verschiedenen Konzeptwechselmodelle ist im Rahmen dieser Arbeit ein Verlaufschaema für einen Unterricht im Klassen- und Kursverband erarbeitet worden, das Teile aus verschiedenen Konzeptwechselmodellen verknüpft und zudem eigene Unterrichtserfahrungen berücksichtigt (vgl. Abb. 5-2). Anhand eines Unterrichtsbeispiels sollen wichtige Phasen erläutert werden. Gleichzeitig wird darauf aufmerksam gemacht, welche Probleme in einem solchen Unterricht auftreten können und dass die theoretisch gut begründeten Unterrichtsschritte in der Praxis wegen z.T. fehlender Beispiele nicht inhaltlich umgesetzt werden können (vgl. Strategie 3, S. 223).

Zunächst ein kurzer Auszug aus einer Unterrichtseinheit zum Thema Photosynthese (BURGER 1997): Aus Vorbefragungen waren Schülerfehlvorstellungen zu einer Reihe von Photosynthesefaktoren bekannt, u.a.: "Mineralstoffe sind ein wichtiger Photosynthesefaktor, denn aus ihnen stellt die Pflanze Zucker her." Das Erzielen von kognitiven Konflikten konnte in diesem Unterrichtsabschnitt erreicht werden, indem alle von den Kursteilnehmern genannten Faktoren, richtige und falsche, in eigenständigen Experimenten auf ihren tatsächlichen Einfluss überprüft wurden. Zur Fehlvorstellung "Mineralstoffe sind ein Photosynthesefaktor" führten die betroffenen Schüler ein selbst entwickeltes Experiment durch und versuchten, durch Düngung die Wasserpest "Elo-dea" zur Erhöhung ihrer Photosyntheserate zu "bewegen" (Messung der Photosyntheserate durch die Bläschenmethode). Die Schüler waren dabei so von ihrer (falschen) Eingangshypothese überzeugt, dass sie selbst noch nach Abschluss der Stunde erfolglos versuchten, ihre Erwartungen mit extrem hohen Düngermengen durch eigene Beobachtungen zu belegen. Nach dieser Sensibilisierung in der Erarbeitungsphase (vgl. Abb. 5-2) waren die Kursteilnehmer in der theoretischen Besprechung der Versuchsergebnisse bereit, ihre ehemals festen Vorstellungen zu Photosynthesefaktoren ernsthaft in Frage zu stellen und schließlich als falsch aus ihren Denkschemata zu streichen (Fertigungsphase, vgl. Abb. 5-2). Den erfolgreichen Vorstellungswechsel belegte ein abschließender Wissenstransfer-Test.

Lernen auf der Basis aktivierter Vorstellungen

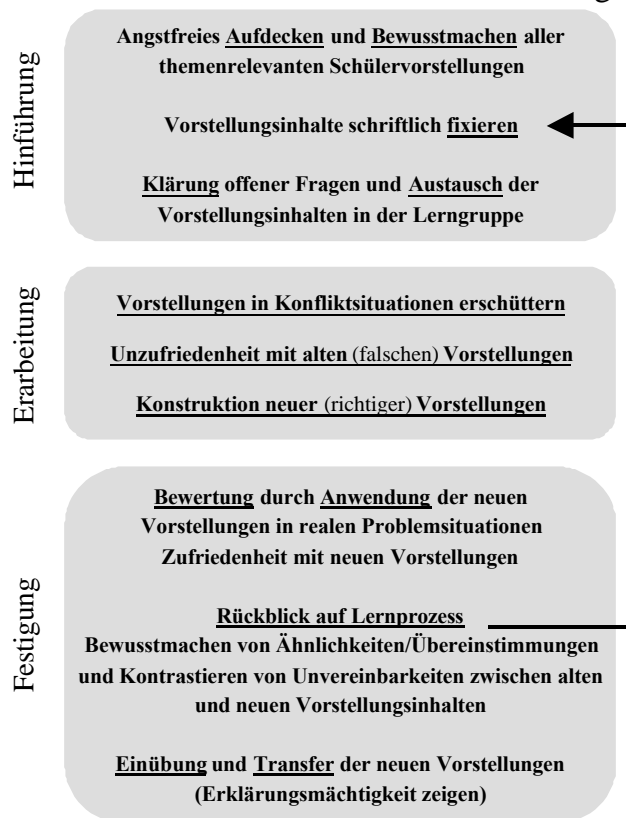


Abb. 5-2: Konzeptwechselmodell (erarbeitet auf Grundlage theoretischer Überlegungen (vgl. S. 106f) und eigener Unterrichtserfahrungen)

Nachfolgend sind für das Übernehmen einer solchen Unterrichtseinheit wichtige Informationen zur Hinführungs-, Erarbeitungs- und Festigungsphase aufgeführt.

Hinführungsphase

Das Aufdecken und Bewusstmachen der themenrelevanten Vorstellungen (Hinführungsphase, vgl. Abb. 5-2) wurde in diesem Kurs durch ein Brainstorming zur Frage "Welche Faktoren beeinflussen die Photosyntheseleistung der Pflanzen?" durchgeführt. Die Ideen der Schüler wurden zunächst einzeln und im Anschluss daran für alle Kursteilnehmer sichtbar an der Tafel festgehalten. Dass bei dieser Sammlung hier sachlich falsche *und* richtige Vorstellungen an der Tafel nebeneinander stehen und erst im späteren Unterrichtsverlauf als richtig oder falsch gewertet werden, wurde betont. Das individuelle schriftliche Fixieren der vorunterrichtlichen Vorstellungen ist einerseits für den späteren Lernrückblick und andererseits für das Sammeln möglichst aller Vorstellungsinhalte wichtig. Bei sofortigem öffentlichen Sammeln kann es vorkommen, dass sich nicht alle Schüler trauen, nach den Äußerungen bestimmter guter Schüler auch ihre evtl. nicht so "gute Antwort" noch einzubringen. Für das Sammeln der Ideen wurden die Schüler gebeten, die Äußerungen ihrer Mitschüler zunächst nicht fachlich zu kommentieren. Hierdurch sollte das angesprochene Zurückhalten von Schülerantworten weiter minimiert werden. Im Anschluss bestand die Möglichkeit, unverständliche Vorstellungsinhalte durch Nachfragen zu klären. Hiernach wurden Schüler mit gleichen Vorstellungen zu Gruppen zusammengeführt. Die nächste Aufgabe in dieser Hinführungsphase bestand darin, zur Überprüfung der eigenen Vorstellungen geeignete Experimente zu entwickeln. Die "Bläschenmethode" als qualitative Methode zur Bestimmung der Photosyntheseleistung wurde den Schülern hierzu im Kursverband im Rahmen eines lehrerzentrierten Unterrichtsgesprächs vermittelt. Die von den einzelnen Gruppen vorgeschlagenen Versuchsaufbauten wurden mit den Möglichkeiten der Sammlung abgeglichen. Fehlende Materialien brachten die Schüler zur nächsten Stunde mit.

Erarbeitungsphase

In der nächsten Stunde fand während der Schülerexperimente die Erschütterung der Vorstellungen statt. Durch das Scheitern der Vorstellung, durch Düngung die Photosyntheserate steigern zu können, sollte sich bei den betroffenen Schülern dabei eine Unzufriedenheit mit ihrer bisherigen Vorstellung entwickeln. Diese angestrebte Unzufriedenheit stellte sich jedoch nur bei einem Teil der Schüler ein. Der andere Teil vertrat trotz gescheiterten Bemühens, die Photosyntheserate durch Dünger zu erhöhen, die Auffassung, dass der "ausbleibende Erfolg" durch die Art des Düngers bzw. durch die Eigenart der verwendeten Pflanze bedingt sei. Nach einem erneuten Versuch mit einer weiteren Pflanze stellte sich die Unzufriedenheit (zu erkennen an der gestellten Frage "Ja, und wie soll das mit der Steigerung sonst funktionieren?") zumindest bei einem weiteren Schüler ein. Zwei weitere Schüler blieben bei ihrer Auffassung, dass andere Faktoren für das Scheitern verantwortlich seien. Das Auftreten des in der Literatur beschriebenen Effekts, dass Schüler es vermeiden, bisherige Vorstellungen sich als falsch einzugestehen (vgl. Abschnitt "Vorwissen besteht trotz widersprüchlicher Sinneswahrnehmungen" S. 84; DUIT 1991), konnte in dieser Unterrichtsstunde nicht völlig ausgeräumt werden.

Festigungsphase

Der oben bereits angesprochene ungelöste kognitive Konflikt, dass ein Mehr an Dünger nicht ein Mehr an Photosyntheseleistung erbrachte, konnte erst in den nächsten Stunden durch das Analysieren der Photosynthesegleichung aufgelöst werden (an der chemischen Reaktion sind nur die Atome H, C und O, jedoch keine Mineralstoffe beteiligt). Die richtige Vorstellung, dass Mineralstoffe

keine Energielieferanten, sondern Baustofflieferanten sind, konnte initiiert werden (wichtige Unterstützung brachte hierzu der in Leitlinie 5 beschriebene Gedankengang "Energie = Ordnungsgrad der Teilchen", S. 245f).

Probleme traten bei der unterrichtlichen Umsetzung der Festigungsphase auf, da es unmöglich war, geeignete reale Problemsituationen zu finden, die speziell die Fehlvorstellung "Mineralstoffe sind ein Photosynthesefaktor." aufgreifen.

Dieses Beispiel spiegelt meine und die in unserer Arbeitsgruppe "Schülervorstellungen im Biologieunterricht" häufig gemachten Erfahrungen wider (vgl. auch KÖHLER 1999; PORBECK 1997; RETHMEIER 1998). Es zeigt deutlich die Diskrepanz zwischen theoretischer Unterrichtsplanung und praktisch möglicher Unterrichtsdurchführung. Der in Abbildung 5-2 (S. 221) gezeigte Ablauf scheint - so didaktisch wertvoll er begründet werden kann - vollständig nur in Ausnahmefällen durchführbar zu sein. *Um so mehr Gewicht erhalten die Strategien 3 und 4*, die die ermittelten Fehlvorstellungen effektivitätssteigernd in den Unterricht einbringen, ohne dass im Unterricht durch aktives Handeln ein kognitiver Konflikt aufgebaut werden muss.

**3. Strategie: Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" ohne im Unterricht initiierte kognitive Konflikte thematisieren.
(Effektiveres Lernen durch Ausschließen bzw. Bestätigen von Vorstellungen im Unterrichtsgespräch durch logisches Schlussfolgern ohne aktives Handeln)**

Eigene Unterrichtserfahrungen haben gezeigt, dass es für viele der im Rahmen der eigenen empirischen Untersuchungen ermittelten Schülervorstellungen (vgl. Kap. 4) einen Mangel an geeigneten Experimenten gibt, um die fachlich falschen Vorstellungsinhalte mit den wissenschaftlichen Vorstellungsinhalten in Konfrontation zu setzen.

Ein Beispiel für derartige Vorstellungsinhalte ist die bereits in Strategie 2 erwähnte ausschließliche Nutzung der Lichtenergie durch die Pflanzen im Rahmen ihrer Ernährung: Dass das Licht eine Rolle für die Pflanze spielt und eine Energiequelle darstellt, ist für die Schüler leicht fassbar. Für das Verständnis des Autotrophiekonzepts ist allerdings die Unterscheidung zwischen energieliefernden Nährstoffen und für die Energieversorgung unbedeutenden Mineralstoffen (Mineralsalzen) notwendig. Nur so kann die verbreitete Fehlvorstellung, dass Pflanzen energiereiche Stoffe zu ihrer Energieversorgung (ausschließlich bzw. zusätzlich) aus dem Boden aufnehmen (VG C-4 (S. 194): GV 52 und GV 89, vgl. Anhang VI; vgl. auch EICKHOFF 1993; PORBECK 1997), verworfen werden. Diese Unterscheidung zwischen Nähr- und Mineralstoffen erscheint jedoch im Experiment nur schwer möglich. Die in der Literatur diskutierten Schulversuche (vgl. u.a. BANNWARTH, KREMER & MASSING 1996) verdeutlichen zwar, dass Licht *eine* Energiequelle für Pflanzen ist, schließen aber gleichzeitig *nicht andere zusätzliche* Quellen (Wasser, Luft, ...) aus. Dieses Dilemma erscheint prinzipiell unlösbar, das Durchführen der Konfrontationsstrategie zur Veränderung der Schülervorstellung ist hier deshalb nicht möglich.

Viele der ermittelten Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" gehören zu dieser Kategorie der Vorstellungsinhalte (vgl. Liste der Grundvorstellungen, Anhang VI), z.B. alle Fehlvorstellungen, die Wasser als Energiespeicher bzw. als (zusätzliche) Energiequelle für Tiere, Pflanzen und Menschen kennzeichnen (GV 90, GV 89), alle Fehlvorstellungen, die Wärme als Energiequelle der Tiere, Pflanzen und Menschen für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge charakterisieren (GV 48, GV 46), Fehlvorstellungen zur Rolle der Vitamine und Mineral- und Spurenelemente als Energielieferanten für den Menschen (GV 14, GV 17, GV 18) sowie Fehlvorstellungen, die

Energie als etwas "Stoffliches" bestimmen, das auf der Erde kreist (GV 91, GV 3, GV 5, GV 30, GV 6, GV 7).

Da viele der ermittelten Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" mangels geeigneter Konfliktsituationen nicht durch Unterrichtsexperimente angemessen thematisiert werden können, wird folgende Unterrichtsgestaltung vorgeschlagen:

1. Zunächst sollten generell bei der Erarbeitung biologischer Prozesse (z.B. Photosynthese und Zellatmung) und Zusammenhänge (z.B. Energiefluss in Ökosystemen, Energie als Steuergröße bei Verhaltensweisen) energetische Betrachtungen genutzt werden, um die Triebfeder und Schrittabfolge der Phänomene besser zu verstehen (vgl. Leitlinie 5, S. 245f).
2. Anschließend sollte versucht werden, die themenrelevanten Fehlvorstellungen, die durch die Befragungen dieser Arbeit bekannt sind und die sich evtl. zusätzlich während des Unterrichts ergeben haben und gesammelt wurden, direkt im Unterricht anzusprechen: "Einige denken, dass ... Was haltet ihr davon?"

Bei diesen Unterrichtsschritten sollten die Schüler versuchen, die Vorstellungen auf der Basis des neu gelernten Wissens zu bewerten. In dem oben skizzierten Beispiel zur Photosynthese kann so z.B. durch die Komplexität der Molekülstrukturen eine Aussage über die gespeicherte Bindungsenergie und damit über die Funktion der Mineralstoffe als Energieüberträger getroffen werden (Mineralstoffe weisen gegenüber Nährstoffen wenige chemische bzw. keine chemischen Bindungen auf und sind deshalb als Energielieferanten ungeeignet).

Derartige Diskussionen setzen zum einen eine über einen längeren Zeitraum (mind. 5 Minuten) funktionierende Kommunikationsstruktur in der Lerngruppe voraus. Zum anderen wird von jedem einzelnen Schüler das Nachvollziehen von Gedankengängen erwartet, die oftmals kaum durch Anschauungsmaterial greifbarer gestaltet werden können. Deshalb erscheint das Thematisieren bestimmter Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" erst ab der Mittel- bzw. ab der Oberstufe möglich. Der Unterricht sollte bei Mittelstufenschülern demzufolge so gestaltet werden, dass auf das oben beschriebene Verfahren möglichst oft verzichtet werden kann (vgl. Leitlinie 4 zur Einführung des Energiebegriffs in der Biologie, S. 237f).

Der hier vorgestellte Umgang mit Schülervorstellungen gilt auch dann, wenn sich zwar ein geeignetes (Schüler-)Experiment zum Aufbau eines kognitiven Konflikts finden lässt, aber eine unterrichtliche Realisierung z. B. aus Zeit- oder Materialgründen nicht möglich ist.

Zur oben beschriebenen unterrichtlichen Verwendung der Schülervorstellungen hat sich weiterhin als sinnvoll herausgestellt, die Schülervorstellungen zunächst individuell und dann in kleinen Gruppen analysieren zu lassen und abschließend sinngemäß auf OHP-Folienstreifen zu schreiben, um sie so der Lerngruppe insgesamt zur Kommentierung zu präsentieren (vgl. Hinführungsphase, Abb. 5-2, S. 222). Dieses Vorgehen ist in den unterrichteten Lerngruppen stets als angenehme Art der Lernkontrolle und Stoffwiederholung vor Tests und Arbeiten gewertet worden.

Wenn Schüler hierzu in Gruppenarbeit mit ihrer eigenen Vorstellung umgehen, ist es wichtig, dass eine möglichst gut funktionierende Kommunikation innerhalb der Gruppe herrscht. Bezüglich der hierarchischen Strukturen und einer möglichst angstfreien Äußerung von Vorstellungsinhalten haben sich bei meinen Unterrichtsversuchen *freiwillige feste Gruppen mit nicht mehr als drei Schülern* (vergleichbar mit Lernpartnerschaften, BECK 1995) als günstig erwiesen.

Folgende Hinweise aus meiner Unterrichtserfahrung sollten bei der oben beschriebenen Kommunikation über Schülervorstellungen beachtet werden:

1. Schülervorstellungen zu Beginn auf einem einzelnen Blatt anonym in Einzelarbeit schriftlich sammeln (Methoden zur Befragung vgl. Kap. 4.5.2, S. 141). Der Sinn dieser Aktion (Lernrückblick ermöglichen) und die geplante spätere Verwendung müssen den Schülern bekannt gemacht werden. Das Einsammeln der Schülervorstellungen (zum Ende der Einheit) sollte stets auf freiwilliger Basis stattfinden. Die Vorstellungen dürfen im weiteren Unterrichtseinsatz von Seiten des Lehrers aus nur anonym und nur dem Sinn nach verwandt werden (vgl. Punkt 2).
2. Schülervorstellungen *nicht wortwörtlich* auf die OHP-Folienstreifen schreiben. Schülern ist es oft unangenehm, wenn ihre (Fehl-) Vorstellung vor der gesamten Lerngruppe als falsch bewertet wird. Die Erfahrung zeigt, dass Schüler oft mit Erfolg untereinander ermitteln, wessen Vorstellung gerade besprochen wird, da betroffene Mitschüler meistens durch verlegenes Verhalten auffallen. Eine geplante Anonymität kann so schnell verhindert werden. Die Beschämung kann bei einzelnen Schülern dazu führen, dass sie beim nächsten Sammeln und Besprechen von Vorstellungen gehemmt sind.
3. Um die vorunterrichtlichen Vorstellungen der Schüler nicht unbeabsichtigterweise "als *nur falsch*" herauszustellen, ist es sinnvoll, stets auch fachlich richtige Vorstellungen beim Lernrückblick einzubeziehen.

Wenn die Unterrichtszeit fehlt, um die Schülervorstellungen der zu unterrichtenden Lerngruppe direkt zu ermitteln, oder wenn in Hinblick auf Methodenvielfalt das schriftliche Befragen im aktuellen Unterrichtsabschnitt unangemessen ist, kann auf die im Rahmen dieser Arbeit formulierten Grundvorstellungen und Vorstellungsgebäude zurückgegriffen werden.

Wenn in den Schülerantworten nicht alle Vorstellungsinhalte vorkommen, die im Rahmen dieser Arbeit aufgedeckt wurden (vgl. Anhang VI), hat es sich als methodisch sinnvoll herausgestellt, OHP-Folienstreifen mit den noch fehlenden Vorstellungsinhalten zu "Energie im biologischen Kontext" zu ergänzen.

Erläuterungen zur Tabelle 5-1

Mit welchen (Fehl-) Vorstellungen in welcher Jahrgangstufe zu rechnen ist, zeigt Tabelle 5-1. Ein Vorstellungsgebäude wird hierbei als in der Jahrgangstufe vorhanden eingestuft (in der Tabelle 5-1 mit "+" gekennzeichnet), wenn mindestens eine Grundvorstellung, die das Vorstellungsgebäude inhaltlich wesentlich trägt, eine mindestens 3-prozentige Auftrittshäufigkeit aufweist. In der Regel werden die Vorstellungsgebäude durch mehrere Grundvorstellungen mit deutlich höheren Auftrittshäufigkeiten gestützt (vgl. Erörterung der Vorstellungsgebäude in Kap. 4.5.6.1, S. 176f). Bis auf das Vorstellungsgebäude C-3 werden alle Vorstellungsgebäude durch mindestens eine Grundvorstellung gestützt, die einen Kf-Wert von größer/gleich vier besitzt. (Zur Erläuterung der gewählten Werte für Auftrittshäufigkeit und Kontextflexibilität der Grundvorstellung vgl. S. 208).

Da das Vorstellungsgebäude B1-5 durch keine Grundvorstellung direkt belegt wird, sondern nur durch mehrere Grundvorstellungen indirekt in seiner Existenz gestützt ist, sind die +-Zeichen in Klammern gesetzt.

Fast alle Vorstellungsgebäude, die zur Zusammenfassung der vielen inhaltlich verschiedenen Vorstellungsinhalte aufgestellt wurden, sind bei Schülern aller untersuchten Jahrgangstufen aufzufinden. Ausnahmen sind die beiden Vorstellungsgebäude C-3 und C-6, die bei Schülern der 5. Jahrgänge kaum in den analysierten Schüleraussagen nachzuweisen sind.

Je nach Lernniveau des zu unterrichtenden Kurses kann es sinnvoll sein, statt der übergreifend formulierten Vorstellungsgebäude auf die Inhalte der weniger komplexen Grundvorstellungen oder im Einzelfall sogar auf die "Kurzfassungen der Schülerantworten" (KSA) aus den Fragebögen zurückzugreifen (vgl. Anhang V).

Tab. 5-1: Auftreten der Vorstellungsgebäude in den Jahrgängen 5, 8, 10 und 11/12

| Themenbereiche | | Aspekte | Inhalt der Vorstellungsgebäude ² | | | |
|--------------------------------------|------|---|---|-------------|--------------|------------------|
| | | | 5. Jahrgang | 8. Jahrgang | 10. Jahrgang | 11./12. Jahrgang |
| Eigenschaften | A1-1 | Energie ist etwas "Stoffliches". | + | + | + | + |
| | A1-2 | Energie ist etwas Abstraktes, eine Eigenschaft, die Lebewesen besitzen können. | + | + | + | + |
| Zweck | A2-1 | Energie bzw. Wärme(energie) wird mit "Phänomenen des Lebendigen" und "Aspekten von Gesundheit" in Verbindung gebracht. Energie selbst, als Stoff bzw. in Form von Wärme(energie), ist dabei für den Ablauf bestimmter Reaktionen/Phänomene notwendig. | + | + | + | + |
| Vorkommen, Speicherung und Transport | B1-1 | Energie ist in Biomasse nur bzw. besonders an bestimmten Orten. | + | + | + | + |
| | B1-2 | Energie entsteht in Lebewesen. | + | + | + | + |
| | B1-3 | Die Speicherung von Energie in Lebewesen ist entweder direkt an Materie gebunden (wie z.B. Vitamine, Mineralstoffe, Wasser und Gase - Oberstufenschüler nennen auch ATP als Energiespeicher) oder aber "materiell ungebunden" (vgl. A1-2). | + | + | + | + |
| | B1-4 | Energie wird in Lebewesen an Materie gebunden transportiert (z.B. Blutkörperchen). | + | + | + | + |
| | B1-5 | Energie wird in Lebewesen amateriell transportiert (vgl. A1-2). | (+) | (+) | (+) | (+) |
| Umwandlung | B2-1 | In Lebewesen wird Energie umgewandelt und verbraucht. | + | + | + | + |
| | B2-2 | Lebewesen erzeugen Wärme - besonders durch "Verbrennung von Stoffen" und Bewegungsvorgänge (Reibung). | + | + | + | + |
| | B2-3 | Energie wird dort umgewandelt, wo auch Energie gespeichert ist bzw. wo das mit Sinnen wahrnehmbare "Folgeprodukt" der Energie (z.B. Bewegung, Wärme) gebraucht wird. | + | + | + | + |
| Aufnahme und Abgabe | C-1 | Lebewesen nehmen die für ihre Lebensvorgänge nötige Energie (ausschließlich) mit Wärme auf. | + | + | + | + |
| | C-2 | Tierische Lebewesen/Menschen nehmen die für ihre Lebensvorgänge nötige Energie durch Nahrung (Vitamine und Mineralstoffe/Spurenelemente), Gase und Wasser an Materie gebunden auf. | + | + | + | + |
| | C-3 | Tierische Lebewesen/Menschen nehmen die für ihre Lebensvorgänge nötige Energie (durch Licht) direkt von der Sonne auf. | - | + | + | + |
| | C-4 | Pflanzen nehmen die für ihre Lebensvorgänge nötige Energie zum Leben wie tierische Organismen an Materie gebunden (aus dem Boden (u.a. mit Wasser, Nährstoffen) oder durch Gase in der Luft) auf. | + | + | + | + |
| | C-5 | Energie wird von Lebewesen durch Wärme und Stoffe (z.B. Urin) abgegeben. | + | + | + | + |
| | C-6 | Energie kreist - einem Stoff ähnlich - auf der Erde. Energie kann zwischen Lebewesen untereinander sowie zwischen Lebewesen und ihrer Umwelt ausgetauscht werden. | - | + | + | + |

Erläuterungen zur Tabelle 5-1 auf Seite 225.

Die Tabellen 5-2 bis 5-4 zeigen, mit welchen Fehlvorstellungen in Lerngruppen der 8., 10. und 11./12. Jahrgangstufe³ zu rechnen ist. Diese Tabellen sollen praktizierenden Lehrern als Hinweis dienen, welche Schüleräußerungen bzw. welche inhaltlich ähnlichen Formulierungen hinterfragt

² Der Begriff "Vorstellungsgebäude" wird ab S. 176 erläutert.

³ Die Fehlvorstellungen der Schüler der 5. Jahrgänge sind nicht separat aufgeführt, da eine Thematisierung des Energiebegriffs in dieser Jahrgangstufe für nicht sinnvoll erachtet wird. Einen Überblick über häufige Fehlvorstellungen dieser Schüler gibt Tabelle 5-5 (S. 236).

werden sollten, um herauszufinden, ob sich eine Fehlvorstellung hinter den Schülerformulierungen verbirgt, die aufgegriffen werden sollte.

Tab. 5-2: Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" im 8. Jahrgang

| GV-Nummer | alle Fehlvorstellungen der Achtklässler, die bei mehr als 3% der Probanden in den Fragebögen aufgetreten sind | Inhalte der Grundvorstellung ⁴ | alle in % | Jg. 8 in % |
|-----------|--|---|------------|------------|
| | | | | |
| | Anzahl der Probanden | | 784 | 168 |
| 91. | Energie kann hergestellt und verbraucht werden. | | 65,1 | 61,3 |
| 3. | Energie wird für Lebensvorgänge verbraucht. | | 53,6 | 47,0 |
| 5. | Energie ist etwas "Stoffliches". | | 33,3 | 36,9 |
| 19. | Energie ist in Stoffen/Dingen/Lebewesen/Teilen von Lebewesen nicht im ganzen Objekt verteilt, sondern nur an bestimmten Stellen. | | 26,8 | 32,1 |
| 37. | Energie ist für den physischen/psychischen Zustand von Lebewesen zuständig; Energie ist "etwas", was man anregen, steigern, verlieren, trainieren kann (Energie als Ursache für Fitneß, Wohlbefinden, Unlust, Gesundheit) - Lebendiges hat Energie, Totes hat keine. | | 22,3 | 28,6 |
| 1. | Energie wird in Lebewesen/im Körper hergestellt (z.B. aus Nahrung). | | 28,4 | 25,0 |
| 52. | Pflanzen nehmen Energie durch Wurzeln/aus dem Boden auf. | | 23,2 | 25,0 |
| 31. | Energie selbst bewirkt Reaktionen/produziert etwas (z.B. Prickeln auf der Haut, Wärme). | | 23,2 | 20,8 |
| 90. | Wasser ist Energie(speicher) für Lebewesen. | | 12,9 | 17,3 |
| 89. | Pflanzen nehmen Energie durch Wasser auf. | | 12,2 | 16,7 |
| 82. | Energie ist in Lebewesen dort/dort gespeichert, wo sie (zumeist) etwas "mit Sinnen Wahrnehmbares", etwas Offensichtliches vollbringen kann (hauptsächlich in bewegten u. bewegbaren Körperteilen: Gliedmaßen, deren Muskeln u. im Kopf) + Negation der Aussage. | | 15,1 | 16,1 |
| 17. | Vitamine werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. | | 11,2 | 16,1 |
| 30. | Energie kann direkt in "etwas" umgewandelt werden. | | 17,2 | 14,9 |
| 6. | Energie wird verbrannt. | | 9,7 | 13,7 |
| 44. | Sonne ist Wärmespender (spendet Energie nicht in Form von Licht oder kurzweiliger Strahlung), Sonne spendet Energie nur in Form von Wärme. | | 10,6 | 10,1 |
| 8. | Durch Verbrennung von Nahrung/Nahrungsbestandteilen/Mineralstoffen entsteht Energie. | | 6,4 | 10,1 |
| 7. | Energie ist ein eigener - quasi zusätzlicher - Bestandteil von Stoffen/Nahrung/Strahlung. | | 8,5 | 9,5 |
| 48. | Lebewesen nehmen Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge in Form von Wärme auf. | | 12,0 | 8,3 |
| 9. | Nahrung/Nahrungsbestandteile/Stoffe sind Energie. | | 8,9 | 7,7 |
| 49. | Energie (fließt nicht, sondern) kreist auf der Erde. | | 3,3 | 5,4 |
| 57. | Bewegung/Muskelbewegung braucht (viel) Energie - Abläufe beim Denken brauchen jedoch wenig Energie. | | 3,7 | 4,8 |
| 68. | Bei Verwesung/Fäulnis entsteht Energie. | | 2,7 | 4,8 |
| 12. | Nahrungsbestandteile/aufgenommene Stoffe/Lichtstrahlen werden direkt in Energie/Energiespeicher (ATP) umgewandelt. | | 10,3 | 4,2 |
| 55. | Durch Reibung entsteht im Lebewesen Wärme. | | 4,2 | 4,2 |
| 36. | Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge wird direkt von der Sonne aufgenommen. | | 2,4 | 4,2 |
| 85. | Tierische Lebewesen bekommen Energie für Lebensvorgänge durch Licht. | | 3,8 | 3,6 |
| 54. | Luft/Sauerstoff/Stickstoff/Kohlendioxid sind Energieträger/übertragen Energie zwischen Pflanzen, Tieren und Menschen. | | 2,9 | 3,6 |
| 14. | Vitamine sind Energielieferanten für den Menschen. | | 2,3 | 3,6 |
| 18. | Spurenelemente werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. | | 2,3 | 3,6 |

Tab. 5-3: Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" im 10. Jahrgang

| GV-Nummer | alle Fehlvorstellungen der Zehntklässler, die bei mehr als 3% der Probanden in den Fragebögen aufgetreten sind | Inhalte der Grundvorstellung | alle in % | Jg. 10 in % |
|-----------|--|------------------------------|------------|-------------|
| | | | | |
| | Anzahl der Probanden | | 784 | 168 |
| 91. | Energie kann hergestellt und verbraucht werden. | | 65,1 | 76,2 |
| 3. | Energie wird für Lebensvorgänge verbraucht. | | 53,6 | 65,5 |
| 5. | Energie ist etwas "Stoffliches". | | 33,3 | 45,8 |
| 1. | Energie wird in Lebewesen/im Körper hergestellt (z.B. aus Nahrung). | | 28,4 | 29,8 |
| 52. | Pflanzen nehmen Energie durch Wurzeln/aus dem Boden auf. | | 23,2 | 29,2 |
| 31. | Energie selbst bewirkt Reaktionen/produziert etwas (z.B. Prickeln auf der Haut, Wärme). | | 23,2 | 27,4 |
| 19. | Energie ist in Stoffen/Dingen/Lebewesen/Teilen von Lebewesen nicht im ganzen Objekt verteilt, sondern nur an bestimmten Stellen. | | 26,8 | 24,4 |

⁴ Der Begriff "Grundvorstellung" wird ab S. 117 erläutert.

| GV-Nummer | alle Fehlvorstellungen der Zehntklässler, die bei mehr als 3% der Probanden in den Fragebögen aufgetreten sind | Inhalte der Grundvorstellung | alle in % | Jg. 10 in % |
|-----------|--|------------------------------|-----------|-------------|
| 82. | Energie ist in Lebewesen dort/dort gespeichert, wo sie (zumeist) etwas "mit Sinnen Wahrnehmbares", etwas Offensichtliches vollbringen kann (hauptsächlich in bewegten u. bewegbaren Körperteilen: Gliedmaßen, deren Muskeln u. im Kopf) + Negation der Aussage. | | 15,1 | 19,0 |
| 30. | Energie kann direkt in "etwas" umgewandelt werden. | | 17,2 | 19,0 |
| 37. | Energie ist für den physischen/psychischen Zustand von Lebewesen zuständig; Energie ist "etwas", was man anregen, steigern, verlieren, trainieren kann (Energie als Ursache für Fitneß, Wohlbefinden, Unlust, Gesundheit) - Lebendiges hat Energie, Totes hat keine. | | 22,3 | 16,7 |
| 6. | Energie wird verbrannt. | | 9,7 | 15,5 |
| 44. | Sonne ist Wärmespender (spendet Energie nicht in Form von Licht oder kurzwelliger Strahlung), Sonne spendet Energie nur in Form von Wärme. | | 10,6 | 13,7 |
| 90. | Wasser ist Energie(speicher) für Lebewesen. | | 12,9 | 13,1 |
| 89. | Pflanzen nehmen Energie durch Wasser auf. | | 12,2 | 13,1 |
| 48. | Lebewesen nehmen Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge in Form von Wärme auf. | | 12,0 | 12,5 |
| 7. | Energie ist ein eigener - quasi zusätzlicher - Bestandteil von Stoffen/Nahrung/Strahlung. | | 8,5 | 11,9 |
| 17. | Vitamine werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. | | 11,2 | 10,7 |
| 9. | Nahrung/Nahrungsbestandteile/Stoffe sind Energie. | | 8,9 | 9,5 |
| 8. | Durch Verbrennung von Nahrung/Nahrungsbestandteilen/Mineralstoffen entsteht Energie. | | 6,4 | 9,5 |
| 12. | Nahrungsbestandteile/aufgenommene Stoffe/Lichtstrahlen werden direkt in Energie/Energiespeicher (ATP) umgewandelt. | | 10,3 | 8,9 |
| 65. | Lebewesen (allgemein) nehmen Energie direkt von der Sonne auf. | | 1,3 | 4,8 |
| 36. | Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge wird direkt von der Sonne aufgenommen. | | 2,4 | 4,2 |
| 68. | Bei Verwesung/Fäulnis entsteht Energie. | | 2,7 | 4,2 |
| 49. | Energie (fließt nicht, sondern) kreist auf der Erde. | | 3,3 | 3,6 |
| 57. | Bewegung/Muskelbewegung braucht (viel) Energie - Abläufe beim Denken brauchen jedoch wenig Energie. | | 3,7 | 3,0 |

Tab. 5-4: Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" im 11. und 12. Jahrgang

| GV-Nummer | alle Fehlvorstellungen der Elft- und Zwölftklässler, die bei mehr als 3% der Probanden in den Fragebögen aufgetreten sind | Inhalte der Grundvorstellung | alle in % | Jg. 11/12 in % |
|-----------|--|------------------------------|------------|----------------|
| | Anzahl der Probanden | | 784 | 280 |
| 91. | Energie kann hergestellt und verbraucht werden. | | 65,1 | 77,9 |
| 3. | Energie wird für Lebensvorgänge verbraucht. | | 53,6 | 64,3 |
| 1. | Energie wird in Lebewesen/im Körper hergestellt (z.B. aus Nahrung). | | 28,4 | 41,4 |
| 31. | Energie selbst bewirkt Reaktionen/produziert etwas (z.B. Prickeln auf der Haut, Wärme). | | 23,2 | 31,1 |
| 5. | Energie ist etwas "Stoffliches". | | 33,3 | 27,9 |
| 30. | Energie kann direkt in "etwas" umgewandelt werden. | | 17,2 | 21,4 |
| 19. | Energie ist in Stoffen/Dingen/Lebewesen/Teilen von Lebewesen nicht im ganzen Objekt verteilt, sondern nur an bestimmten Stellen. | | 26,8 | 19,3 |
| 37. | Energie ist für den physischen/psychischen Zustand von Lebewesen zuständig; Energie ist „etwas“, was man anregen, steigern, verlieren, trainieren kann (Energie als Ursache für Fitneß, Wohlbefinden, Unlust, Gesundheit) - Lebendiges hat Energie, Totes hat keine. | | 22,3 | 19,3 |
| 48. | Lebewesen nehmen Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge in Form von Wärme auf. | | 12,0 | 18,6 |
| 12. | Nahrungsbestandteile/aufgenommene Stoffe/Lichtstrahlen werden direkt in Energie/Energiespeicher (ATP) umgewandelt. | | 10,3 | 18,2 |
| 52. | Pflanzen nehmen Energie durch Wurzeln/aus dem Boden auf. | | 23,2 | 16,8 |
| 82. | Energie ist in Lebewesen dort/dort gespeichert, wo sie (zumeist) etwas "mit Sinnen Wahrnehmbares", etwas Offensichtliches vollbringen kann (hauptsächlich in bewegten u. bewegbaren Körperteilen: Gliedmaßen, deren Muskeln u. im Kopf) + Negation der Aussage. | | 15,1 | 8,6 |
| 44. | Sonne ist Wärmespender (spendet Energie nicht in Form von Licht oder kurzwelliger Strahlung), Sonne spendet Energie nur in Form von Wärme. | | 10,6 | 8,2 |
| 7. | Energie ist ein eigener - quasi zusätzlicher - Bestandteil von Stoffen/Nahrung/Strahlung. | | 8,5 | 8,2 |
| 6. | Energie wird verbrannt. | | 9,7 | 7,5 |
| 55. | Durch Reibung entsteht im Lebewesen Wärme. | | 4,2 | 7,5 |
| 90. | Wasser ist Energie(speicher) für Lebewesen. | | 12,9 | 7,1 |
| 85. | Tierische Lebewesen bekommen Energie für Lebensvorgänge durch Licht. | | 3,8 | 6,8 |
| 9. | Nahrung/Nahrungsbestandteile/Stoffe sind Energie. | | 8,9 | 6,4 |
| 89. | Pflanzen nehmen Energie durch Wasser auf. | | 12,2 | 6,1 |
| 8. | Durch Verbrennung von Nahrung/Nahrungsbestandteilen/Mineralstoffen entsteht Energie. | | 6,4 | 5,7 |
| 49. | Energie (fließt nicht, sondern) kreist auf der Erde. | | 3,3 | 3,9 |
| 46. | Pflanzen nehmen (für ihre Lebensvorgänge) Energie in Form von Wärme auf. | | 2,7 | 3,9 |
| 57. | Bewegung/Muskelbewegung braucht (viel) Energie - Abläufe beim Denken brauchen jedoch wenig Energie. | | 3,7 | 3,6 |
| 17. | Vitamine werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. | | 11,2 | 3,2 |

4. Strategie: **Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" im Unterricht absichtlich nicht thematisieren.**
(Effektiveres Lernen durch geplantes Umgehen von Fehlvorstellungen)

Die von WIESNER (1994) für den Physikunterricht vorgeschlagene Strategie, ein kontinuierliches Lernen an den problematischen und unpassenden Vorstellungen der Schüler vorbei zu gestalten, wird für den Biologieunterricht aufgegriffen⁵. Da diese Strategie stark die Inhalte des Biologieunterrichts beeinflusst, sind weitere Überlegungen in Kapitel 5.2.1 zum inhaltlichen Ansatz der Arbeit in der Leitlinie 3 (S. 235) aufgeführt.

Hinweise für den methodischen Umgang mit Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext", die für die Anwendung der Strategien 1 bis 3 gleichermaßen gelten, sind nachfolgend in den Leitlinien 1 und 2 aufgeführt.

5.1.1 Leitlinien für den methodischen Umgang mit Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext"

(1) Vor themenrelevanten Unterrichtseinheiten wichtige naturwissenschaftliche Konzepte zum Energiebegriff wiederholen.

Allgemein - aber besonders dann, wenn die Vorschläge zu einer Ausweitung der Behandlung energetischer Aspekte im Biologieunterricht nicht umgesetzt werden - sollte es vor der Erarbeitung eines Themenbereichs, in dem der Energiebegriff eine tragende Rolle spielt (z.B. Stoffwechselphysiologie und Ökologie), eine "Einführung zum naturwissenschaftlichen Energiebegriff" geben. Diese Einführung sollte sowohl bei Schülern der Sekundarstufe I als auch bei Schülern der Sekundarstufe II folgende Aspekte beinhalten:

1. Thematisierung der Rolle von Schülervorstellungen (zu Energie) in Hinblick auf mögliche Lernschwierigkeiten beim Lernprozess (ab Jahrgangstufe 8, vorher sollte der Energiebegriff nicht in der Biologie eingeführt werden, vgl. Leitlinie 4, S. 237). Eine solche Metakommunikation zum Lehren und Lernen⁶ sollte insbesondere die folgenden Inhalte beachten: Vorwissen steuert und beeinflusst Sinneswahrnehmungen, Vorwissen besteht trotz widersprüchlicher Sinneswahrnehmungen, Vorwissen wird situationsbedingt aktiviert, Vorwissen verhindert nicht das Aneignen von Wissen, das dem Vorwissen widerspricht (vgl. S. 83 ff). Wie diese Inhalte an Beispielen schülernah erläutert werden können, ist im Aspekt 2 diskutiert (vgl. WHITE & GUNSTONE 1989).

Vorsicht Verwechslungsgefahr!

Das Wort "ENERGIE" hat verschiedene Bedeutungen!

| Alltag | Wissenschaft |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Energie wird im Kraftwerk hergestellt • Traubenzucker gibt verbrauchte Energie zurück • keine Energie mehr > man fühlt sich schlapp | <ul style="list-style-type: none"> • Energie ist einer "Zahl" vergleichbar • Energie kann nicht hergestellt und nicht verbraucht werden |

Abb. 5-3: Mögliches Tafelbild zur Bedeutung des Wortes "Energie"

⁵ ZÖLLER (1971) schlägt in Hinblick auf die Verwendung des Wortes "Verbrennung" bei biochemischen Oxidationsprozessen eine ähnliche Strategie vor: "Um der falschen Vorstellung vorzubeugen, genügt es m. E., in der Unterstufe das Wort "Verbrennung" wegzulassen."

⁶ Thematisiert werden sollen hier u.a. die in Anlehnung an KLIPPERT (1996) formulierten Fragen zu den vier Bereichen des inhaltlich-fachlichen, methodisch-strategischen, sozial-kommunikativen und affektiven Lernens (vgl. S. 106).

2. Herausstellung der unterschiedlichen Bedeutungen des alltäglichen und naturwissenschaftlichen Energiebegriffs. In der Schulpraxis hat sich hierzu an der Tafel (vgl. Abb. 5-3, S. 229) eine tabellarische Gegenüberstellung der verschiedenen Bedeutungen und Zusammenhänge, in denen der Ausdruck Energie benutzt wird, bewährt. Kennen die Schüler noch keine naturwissenschaftlich korrekte Aussage zum Energiebegriff bzw. können sie im Unterricht keine Aussage formulieren, kann der Lehrer das Kriterium "Energieerhaltung" (vgl. Kap. 2.1.2.1, S. 14) durch den Satz "Energie kann nicht hergestellt und nicht verbraucht werden." angeben. Die Suche nach widersprüchlichen Aussagen auf der Seite der alltäglichen Energiebedeutungen und die Diskussion, welche Folgen es haben kann, wenn man ein Vorwissen besitzt, das einem im Unterricht neu zu lernenden Inhalt widerspricht, führt zur erwähnten Metakommunikation über das Lernen und die Rolle unterrichtlichen Vorwissens (vgl. SANDOVAL 1995)⁷.
3. Wiederholung der bereits in Chemie und Physik (evtl. auch in Biologie) behandelten Konzepte zum Energiebegriff. Eine Absprache zwischen den Fächern für das schuleigene Curriculum über die vermittelten Unterrichtsinhalte ist hierzu unvermeidlich (vgl. GAYFORD 1986b).

Eine solche dreischrittige Einführung erscheint insbesondere zum Ende der Sekundarstufe I und in der Sekundarstufe II nötig, da wesentliche Fehlvorstellungen besonders häufig von Schülern dieser Jahrgänge vertreten werden (vgl. Tab. 4-21, S. 170; Tab. 4-22, S. 172).

Im Zusammenhang mit den neuen Richtlinien und Lehrplänen für Biologie der gymnasialen Oberstufe in NRW wird aufgrund der dargelegten Überlegungen die Einführung eines Schwerpunktthemas "Energie" vorgeschlagen (MSWWF 1999). Damit könnte die Basis für energetische Analysen für die Themen der 12. und 13. Jahrgangsstufe gelegt werden, auf die - wie oben erwähnt - in kurzen Wiederholungen zurückgegriffen werden kann. Die Inhalte eines solchen Schwerpunktthemas müssen nach den Gegebenheiten der Schulen individuell gestaltet werden. Die folgenden Leitlinien geben einige Hinweise.

Des Weiteren wird für alle Biologiebücher, die in ihren Texten den Begriff "Energie" verwenden, die Erstellung eines altersgerechten Glossars (vgl. ENTRICH & STAECK 1992) bzw. die ausführliche Behandlung energetischer Aspekte im laufenden Text (vgl. z.B. GERHARDT-DIRCKSEN et al. 1995) empfohlen. Mögliche Inhalte lassen sich insbesondere der Leitlinie 4 (S. 237f) entnehmen.

(2) In Hinblick auf den Energiebegriff zur differenzierten (mündlichen) Zweisprachigkeit (alltagssprachlicher und wissenschaftssprachlicher Energiebegriff) erziehen. In Lehrtexten nur in gekennzeichneten Ausnahmefällen unpräzise alltagsprachliche Ausdrucksweisen ("Herstellen und Verbrauchen von Energie") zulassen.

Die Ausdrücke "Verbrauchen" und "Herstellen" von Energie bzw. "Energiegewinn" und "Energieverlust" sind in Hinblick auf die Aussagen des ersten Thermodynamischen Hauptsatzes aus naturwissenschaftlicher Sicht zwar falsch, im alltäglichen Verständnis von Energie als Treibstoff oder in Hinblick auf die Nahrungsaufnahme von Organismen, energetisch offener Systeme, jedoch angemessen (vgl. KATTMANN 1980). Auch bei fachwissenschaftlichen Diskussionen, z.B. innerhalb eines Unterrichtsgesprächs, kann es trotz naturwissenschaftlicher Unangemessenheit sprach- und denk-ökonomisch sinnvoll sein, ebenfalls vom Herstellen und Verbrauchen der Energie zu sprechen, da diese Ausdrücke die Idee dessen, was vermittelt werden soll, kurz und prägnant beinhalten. So sind z.B. die Formulierungen zur Heterotrophie, die auch häufig in Schulbüchern und z.T.

⁷ Dass ein und dasselbe Wort mit unterschiedlichen Vorstellungen verbunden ist, kann Schülern leicht durch das "Teekesselchen-Spiel" verdeutlicht werden; vgl. Fußnote 33 auf S. 78.

auch in einschlägiger Fachliteratur zu lesen sind, wie "Pflanzen stellen im Prozess der Photosynthese Energie her, die von Tieren und Menschen mit ihrer Nahrung aufgenommen werden kann" oder im Zusammenhang mit dem Fettsäureabbau "(...) Acetyl-CoA kann in den Citronensäurezyklus eingeschleust und abgebaut werden. Auch hierbei wird Energie gewonnen." (MIRAM & SCHARF 1996) für jemanden, der das Energieprinzip verstanden hat, aussagekräftig und dürften zu keiner Fehlinterpretation führen: Strahlungsenergie wird von Pflanzen (bei Energieabgabe in Form von Wärme) in chemisch gebundene Energie überführt. Tiere und Menschen können diese chemisch gebundene Energie für ihre Lebensabläufe aufnehmen (zur Rolle der Wärme vgl. Leitlinie 5, S. 245f); Im Citronensäurezyklus werden Teile der Bindungsenergien des Acetyl-CoA in für den Organismus nutzbare Bindungsenergie verschiedener Energiespeicher wie z.B. ATP überführt. Diese zwar präziseren, aber wortaufwändigeren und umständlichen Formulierungen werden in der mündlichen Sprache vermieden. Die Information, dass Energie nicht verbraucht oder hergestellt, sondern lediglich umgewandelt werden kann, ist bei den genannten Beispielen redundant und wird zur Reduktion auf das Wesentliche des Gedankengangs weggelassen. Diese alltägliche, wenn auch unpräzise, sprachliche Vereinfachung zugunsten eines schnelleren Informationsaustausches erscheint auch beim Thema "Energie im biologischen Kontext" sinnvoll. Deshalb wird für den Biologieunterricht (wie auch für die anderen naturwissenschaftlichen Fächer) die Erziehung zur *differenzierten (mündlichen) Zweisprachigkeit* vorgeschlagen. Die Schüler sollen sich zum Energiebegriff einerseits ihrer alltäglichen Vorstellungen und Ausdrucksformen (Herstellen, Verbrauchen) bewusst werden und andererseits die wissenschaftlichen Vorstellungen und Ausdrucksformen (Energie ist nur umwandelbar) hinzu lernen (vgl. Textbox), sie sollen damit lernen und üben, die verschiedenen Bedeutungen des Energiebegriffs zu kennen und zu erkennen, und sie sollen in der Lage sein, in verschiedenen Kontexten sowohl eine alltagssprachliche als auch wissenschaftssprachliche Beschreibung bzw. Analyse des betrachteten Phänomens zu geben. Der neue naturwissenschaftliche Begriffsinhalt soll also *nicht* den alten *ersetzen*, sondern *zusätzlich* verfügbar sein. Dabei muss klar zwischen den beiden Begriffsinhalten differenziert werden. Bei der unterrichtlichen Verwendung darf es nicht zu sprachlichen und inhaltlichen Ungenauigkeiten kommen. Der naturwissenschaftliche *Energiebegriff soll inhaltlich starr abgegrenzt zum alltäglichen Verständnis, aber bezüglich der Stellung im fachlichen Unterrichtsgespräch moderat eingeführt werden.*

Begriffsbedeutungen werden im Unterricht ausgehandelt.

Die "End-Bedeutung" eines Begriffs steht zwar fest - gehandelt wird aber insofern, als der Weg dorthin und die Nähe, die zu ihm erreicht wird, offen ist.

Die ausgehandelte Bedeutung wird durch Anwendung stabilisiert (vgl. S. 60f).

Der Versuch, im Zusammenhang mit Energie die wissenschaftlich "falschen" Ausdrücke "herstellen" und "verbrauchen" durch "umwandeln" zu ersetzen, ist nicht sinnvoll: Der Ausdruck "umwandeln" ist neutral. Ausgedrückt werden soll aber zumeist eine in Hinblick auf ein Lebewesen bzw. einen Prozess positive oder negative Energiebilanz: So wird bei der Muskelkontraktion die in ATP gespeicherte Energie verbraucht. Sie steht dem Organismus nicht mehr für weitere Prozesse zur Verfügung. Die korrekte Formulierung "die Bindungsenergie des ATPs wird umgewandelt" gibt die gegebene Richtung und das Endergebnis nicht bzw. nur angedeutet wieder. Die in Kommunikationsprozessen oft wichtige und gewollte wertende Information - nach der Bewegung besitzt der Organismus *weniger* zur weiteren Bewegung nutzbare Energie, da sie "verbraucht" wurde - wird mit dem Ausdruck "umwandeln" nicht impliziert.

Der aufgezeigte moderate Umgang mit dem Energiebegriff sollte wegen der Gefahr, falsche Schülervorstellungen zu festigen, nur im Gespräch gelten, nicht aber für (Schul-) Fachbücher und Arbeitsmaterialien (Arbeitsblätter, Filme, ...) (vgl. SCHMIDT-SUDHOFF 1993b; WATTS & BENTLEY

1994). Das Studium vieler Publikationen während dieser Arbeit zeigt jedoch, dass leider oftmals auch in Fachwerken unpräzise Ausdrucksformen im Zusammenhang mit dem Energiebegriff anzutreffen sind (zur Verwendung des Energiebegriffs in Schulbüchern zum Fach Biologie der Sekundarstufe I vgl. BURGER 1991: Im Zusammenhang mit Nahrungsaufnahme und Verdauung wird von "Energiegewinn", bei Muskeltätigkeiten von "Energieverbrauch" gesprochen.).

In der eigenen unterrichtlichen Praxis haben sich folgende methodische Hinweise als sinnvoll erwiesen:

- Den Schülern müssen das Ziel einer "zweisprachigen Erziehung in Hinblick auf den Energiebegriff" sowie der Zweck, der damit verbunden ist (weniger Lernschwierigkeiten bei der Erarbeitung naturwissenschaftlicher Phänomene, bei denen die alltäglichen Energievorstellungen nicht zu einer befriedigenden Erklärung führen, vgl. Aufzählung S. 33f), vermittelt werden. Die Aussicht, damit Verständnisschwierigkeiten zu umgehen, soll motivierend in Hinblick auf die Annahme der Zweisprachigkeit wirken.
- Gerade zu Beginn der Erarbeitung eines komplexeren Zusammenhangs (z.B. beim Thema Photosynthese) neigen Schüler dazu, da viele Gedankengänge neu sind, einfach Sätze mit wenigen logischen Verknüpfungen zu sprechen. Hierbei wird oft auf vereinfachte und wissenschaftlich unpräzise Ausdrucksformen zu Energie zurückgegriffen. Um diese Erarbeitungsphase zu erleichtern, sollte deshalb erst nach einer Festigungsphase auf korrekte Formulierung geachtet werden. Diese "Schonzeit" hat sich nach eigenen Lehrerfahrungen sowohl bei Schülern der Sekundarstufe I als auch bei Schülern der Sekundarstufe II bewährt. (Ähnlich gute Erfahrungen publizieren ROER & BÖMER (1992) beim Zulassen von Schüleräußerungen in *ihrer* Schülersprache. Erst nach Wochen wurden bei ihnen die Formulierungen im fachlichen Sinne korrigiert.)
- Die Methode der Zweisprachigkeit in Hinblick auf den Energiebegriff muss von allen Kollegen, die Naturwissenschaften an einer Schule unterrichten, befolgt werden. Anderenfalls besteht die Gefahr, dass die Schüler darauf konditioniert werden (vgl. Kap. 3.1.3.4, S. 70f), nur bei eingebundenen Lehrern (und deren Fachbereichen) das Gelernte bezüglich des Energiebegriffs anzuwenden⁸. Eine hierzu durchgeführte (schulinterne) Lehrerfortbildung ist nach eigenen Erfahrungen sinnvoll.
- Energie darf nicht zum Steckenpferd des Lehrers werden: Die Folge könnte eine wenig reflektierte Anwendung der entsprechenden Inhalte und Ausdrucksformen zum Energiebegriff und seinen Theorien sein. Eine zu häufige Anwendung der Prinzipien in kurzer Zeit lässt das Thema langweilig erscheinen, blockt Überlegungen bei denjenigen Schülern ab, die die entsprechenden Zusammenhänge noch nicht durchdrungen haben, und lässt die Bemühungen zur Intensivierung des Energieverständnisses und zur Anwendung der Theorien in alltagsnahen Situationen kontraproduktiv werden (vgl. entsprechende Beobachtungen bei von Schülern oft als zu häufig behandelt empfundenen Themen wie "Umwelt und Ökologie"). Mit diesem Hinweis ist nicht gemeint, dass die verschiedenen Bedeutungsmöglichkeiten des Energiebegriffs nicht durch möglichst viele verschiedene Assoziationen zu bestehenden Vorstellungen verknüpft werden sollen. Ebenso wenig soll in Frage gestellt werden, dass das konditionierte Lernen des Energiebegriffs (ähnlich einer Vokabel) als eine Brücke zu verständnisreichem Lernen sinnvoll

⁸ Bei der Stundenhospitation eines Chemiekollegen konnte ich die Schüler meines eigenen Biologie-Leistungskurses dabei beobachten, wie sie nicht in der Lage waren, in Biologie gelerntes Wissen über die Aussagen des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik (hier speziell die Irreversibilität von Reaktionen durch Wärmeabgabe) und entsprechende angemessene Ausdrucksweisen anzuwenden. In der folgenden Biologiestunde (noch am selben Tag und ohne die Schüler auf das Festgestellte anzusprechen) wurden wie gewohnt entsprechende Aussagen mit angemessener "Zweisprachigkeit" korrekt beschrieben (Bei Bitte um genaue Formulierung wurde z.B. auf die Worte "verbrauchen" und "herstellen" im Zusammenhang mit dem Wort "Energie" verzichtet).

sein kann: Das Lernen einer Definition ist zum Verständnis eines Begriffs wichtig und unabdingbar. Gleichzeitig müssen aber auch individuelle Vorstellungen entstehen, "sonst bleibt ein Begriff in der Regel "tot"" (BERCK 1999). Das von SCHAEFER (1982, 1992) angesprochene Assoziative Umfeld eines Begriffs muss beim Lehren beachtet werden (vgl. die Leitlinien zur inhaltlichen Gestaltung) und beim Lernen in den kognitiven Strukturen des Schülers entstehen. Um den "Steckenpferd-Effekt" zu vermeiden, hat sich in meinem Unterricht ein *betont unregelmäßiges* Aufgreifen des Energie-Themas als sinnvoll erwiesen. Wie durch die Erfahrungen zum Klassischen Konditionieren zu erwarten war (vgl. GAGE & BERLINER 1996, Erläuterungen auf S. 71), kann durch einen solchen "Variablen Quotenplan zur Verstärkung" die gewollte Möglichkeit, dass Schüler selbständig energetische Analysen zur Lösung eines Problems vornehmen bzw. zum besseren Verständnis komplexer Zusammenhänge durchführen, ohne eine Abstumpfung gegenüber der Energiethematik erzielt werden.

- Eigene Unterrichtserfahrungen haben gezeigt, dass bestimmte Schüler gegenüber dem Energiebegriff ähnlich behavioristische Effekte zeigen wie etwa gegenüber dem "Fachbereich Chemie" (zur Unbeliebtheit des Fachs Chemie vgl. KAUFMANN 1989). Die bange Frage vieler Schüler "Wir machen doch etwa beim Thema Stoffwechselphysiologie keine Chemie?" kann nach der Behandlung des Themas Energie im Physikunterricht auch bei der Einführung der Energiethematik in Biologieunterricht gestellt werden. In solchen Fällen konnte durch eine strikte Abgrenzung zum bisherigen Einsatz des Energiebegriffs eine Löschung derartigen Verhaltens erreicht werden (vgl. Extinktion und Diskrimination, S. 71f). Positiv wurde von den Schülern bei dieser Abgrenzung gewertet, dass die Energiethematik in der Biologie (vgl. Leitlinien 4 (S. 237f) und 5 (S. 245f)) stets ohne mathematische Berechnungen und wenn eben möglich mit einem minimalen Einsatz an chemischer Formelsprache zum Einsatz kam.

5.2 Einflüsse auf die Unterrichtsgestaltung durch den inhaltlichen Ansatz: Vermehrte Berücksichtigung von Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext"

Allgemeine Überlegungen zum Umgang mit dem Thema Energie im naturwissenschaftlichen Unterricht

In Anbetracht der großen Anzahl von Veröffentlichungen und der in Kapitel 2 angedeuteten komplexen fachlichen Zusammenhänge, deren vollständiges Durchdringen als Grundlage *zumindest* ein Studium *aller* Naturwissenschaften voraussetzt, stellen die folgenden Überlegungen und inhaltlichen Leitlinien lediglich *einen* - weniger fachwissenschaftlichen als fachdidaktischen - *Diskussionsbeitrag* dar. Die formulierten Leitlinien, die bei schulpraktischen Anwendungen in meinem Biologieunterricht während der letzten acht Jahre zu einer Effizienzsteigerung von Biologieunterricht beigetragen haben, sind fachwissenschaftlich sowie auch fachdidaktisch in Hinblick auf ihre Angemessenheit in den Naturwissenschaften zu prüfen, zu diskutieren und zu bewerten. Die folgenden Ausführungen sind ein Beitrag zu der fächerübergreifenden Diskussion (KREMER & STÄUDEL 1997) über die Thematik Energie und die Rolle der Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext".

Die Veröffentlichungen zu "Energie im biologischen Kontext" aus der Fachdidaktik Biologie (vgl. u.a. BICKEL-SANDKÖTTER & BICKEL 1999; BILLICH 1977; BOJUNGA 1985, 1985b; BREZMANN 1992, 1992b; BRINKMAN et al. 1994; GAYFORD 1986; KATTMANN 1980; KLEE 1983; LÖWE 1990; MOISEL 1986; ROSS 1993; SCHAEFER 1983, 1983b; TROMMER 1982) beschäftigen sich nur wenig

konkret mit der *Einführung* des Energiebegriffs im Fach Biologie und mit den *Bedeutungen*, die im Biologieunterricht erarbeitet und angewandt werden können. In den Publikationen wird entweder davon ausgegangen,

- dass das Wissen zu Energie den Schülern bereits zur Verfügung steht (entsprechende Unterrichtseinheiten zu energetisch analysierten Phänomenen des Lebendigen finden sich u.a. in den Zeitschriften Unterricht Biologie, Heft Dezember 1996 und November 1999 sowie Naturwissenschaften im Unterricht-Biologie 1983, Themenheft 14),
- dass in der Biologie das Energieverständnis um ökologische Aspekte ergänzt werden kann oder
- die Veröffentlichungen nehmen zur Wichtigkeit des Energiebegriffs bzw. der Energiethematik Stellung, nennen "energie-bezogene" Themen aus der Biologie (Stoffwechsel und Energiefluss in Ökosystemen), ohne jedoch konkrete *praktische* Hinweise zur unterrichtlichen Umsetzung zu geben.

Die themenrelevanten Schülervorstellungen werden zumeist nicht berücksichtigt. Hinweise, wie mit den aufgedeckten Lernschwierigkeiten zum Energiebegriff im Biologieunterricht umgegangen werden soll, fehlen.

Die folgenden Ausführungen versuchen, *einen Teil* dieser Lücke in der Fachdidaktik der Biologie zu schließen. Das Fach Biologie darf nicht nur mit dem Energiebegriff umgehen, sondern muss auch einen eigenen Beitrag zum Aufbau eines Energieverständnisses leisten (vgl. insbesondere Leitlinie 4, S. 237).

Aus dem Bereich der Chemie, besonders aber aus dem Bereich der Physik, liegt dagegen bereits eine große Anzahl an fachdidaktischen Veröffentlichungen zum Thema Energie - auch zum Umgang mit der Energiethematik aus fachwissenschaftlichen Überlegungen heraus - vor (Chemie: vgl. u.a. BÜTTNER 1980; BÜTTNER & KUNTZSCH 1982; FLADT 1998; SCHLÖSSER 1993; SCHMIDT-SUDHOFF 1993, 1993b (sowie das Themenheft "Chemische Energiespeicherung" in Unterricht Chemie, Heft 6, 1999); Physik: vgl. u.a. BUCK 1978, 1980, 1984; DUIT 1980, 1984, 1986, 1986b, 1986d, 1987, 1987b, 1991; DUIT & HÄUßLER 1994; DUIT & v. ZELEWISKI 1979, FRENZEL 1996; GOLDRING & OSBORNE 1994; KERSTEN 1991; KESIDOU & DUIT 1991; LIJNSE 1990; MANTHEI 1991; MARHENKE 1981, 1986; OGBORN 1983; RÜHENBECK 1990; SCHÄFER 1982; SCHLICHTING & BACKHAUS 1979, 1980; TABER 1989; TRUMPER 1990, 1991; WARREN 1982 (sowie das Themenheft "Energie" in Unterricht Physik, Heft 6, 1999).

Die folgenden Erläuterungen zu den Leitlinien zur inhaltlichen Gestaltung des Biologieunterrichts nehmen in Hinblick auf die befragten Probanden ausschließlich Bezug auf die Richtlinien und Lehrpläne für Gymnasien und Gesamtschulen in NRW (KM 1993; MSWWF 1999, 2000). Die formulierten Vorschläge werden jedoch als übergreifend erachtet und dürften deshalb auch in anderen Bundesländern einen sinnvollen Diskussionsbeitrag darstellen.

5.2.1 Leitlinien für die inhaltliche Gestaltung von Biologieunterricht auf Grundlage der ermittelten Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext"

Angesichts der ermittelten Schülervorstellungen - insbesondere in Hinblick auf das weite Spektrum und die hohe Auftrittshäufigkeit der Fehlvorstellungen bei Schülern am Ende der Sekundarstufe I und bei Oberstufenschülern der 11. und 12. Jahrgänge - zu "Energie im biologischen Kontext" muss der Frage nachgegangen werden, ob im heutigen Biologieunterricht die in den Lehrplänen angegebenen Themenbereiche (vgl. MSWWF 1999, 2000) zu komplex und zu niveauvoll bearbeitet werden, grundlegendes Verständnis - auch zum Themenbereich Energie - jedoch zu wenig ver-

mittelt und geübt wird (vgl. LUMER & HESSE 1997): Ist es sinnvoll, beim Photosyntheseapparat die Lage von Plastocyanin und Ferredoxin und beim Tricarbonsäurezyklus die Stellung der α -Ketoglutar säure zu kennen, wenn Schüler nach dem Unterricht (immer noch) die Vorstellung besitzen, dass die Pflanzen ihre Energie durch Wasser aus dem Boden und tierische Organismen ihre Energie über die Wärme aus der Umgebung aufnehmen?

Da die skizzierte Tendenz zu einem zu komplexen und theorielastigen Biologieunterricht aufgrund der achtjährigen Unterrichtserfahrung vom Autor geteilt wird, versuchen die folgenden Leitlinien, den Energiebegriff und die mit ihm verbundenen Theorien für Schüler so "schlank" und so anwendungsfreundlich wie möglich in die Strukturen des Biologieunterrichts zu integrieren. Es soll dabei im Wesentlichen keine Veränderung der Sachstruktur des heutigen Biologieunterrichts vorgenommen werden, sondern eine Anreicherung um die intra- und interdisziplinär vernetzend wirkende Energiethematik. "Schlank" und anwendungsfreundlich sollen die Leitlinien für die Schüler dadurch sein, dass sie einerseits vollständig auf mathematische Berechnungen und chemische und physikalische Formelsprache verzichten und andererseits in Form einfacher und deshalb leicht zu merkender Aussagen die wesentlichen Inhalte vereinen. Der Verzicht auf chemische und physikalische Formelsprache ist dadurch möglich, dass die insbesondere in den Leitlinien 4, 5 und 6 aufgeführten Inhalte zu Energie leicht in Worten wiederzugeben sind, ohne dass Präzision und Aussagekraft verloren gehen.

(3⁹) Themenbereich Energie in der Biologie erst ab Jahrgangstufe 8 einführen.

Die Lehrplananalyse macht deutlich, dass der Energiebegriff in der 5. Klasse der Gymnasien in NRW zunächst nur im Biologieunterricht im Bereich der menschlichen Ernährung eingeführt werden soll. Dadurch besteht die Gefahr, dass durch unreflektiertes Anwenden von Verben und Adjektiven im Zusammenhang mit Energie während des Unterrichts Energie ungewollt als etwas "Stoffliches" von den Schülern verstanden wird, bzw. dass die Vorstellungen von Energie als etwas Stofflichem, die die Schüler aus anderen Wissensquellen bis zu diesem Zeitpunkt gesammelt haben, bestätigt werden. Die Zusammenstellung in Tabelle 5-5 (S. 236) zu den Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" verdeutlicht das Problem.

Acht der elf Fehlvorstellungen, die sich während der Schulzeit noch manifestieren, betreffen die Vorstellung von Energie als etwas "Stofflichem".

Da im Biologieunterricht der Jahrgangstufe 5 der Energiebegriff im stark phänomenologisch ausgerichteten Lernbereich "Mensch" nicht essenziell ist, wird davon abgeraten, bereits hier mit dem Energiebegriff zu arbeiten. Dass eine Nahrungsaufnahme lebensnotwendig ist, zählt zu den Alltagserfahrungen der Schüler. Ein Hinweis, dass diese Nahrungsaufnahme zur Energieversorgung des Körpers dient, steigert nicht das Verständnis. Vielmehr wird sich durch das Benutzen des Wortes Energie in diesem Zusammenhang die Auffassung von einem stofflichen "Energiebegriff", so wie er auch schon zu Beginn der Sekundarstufe I zu beobachten ist (vgl. Tab. 5-5), noch verstärken. Wird nämlich Nahrung mit Energie gleichgesetzt, so besteht die Gefahr, dass die Schüler nicht unterscheiden zwischen Nahrung, die verbraucht wird, und Energie, die zwar umgewandelt, aber eben *nicht* verbraucht werden kann.

⁹ Die beiden Leitlinien zum methodischen Ansatz auf S. 229f sind mit (1) und (2) nummeriert.

Tab. 5-5: Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" im 5. Jahrgang

Fehlvorstellungen, die sich während der Schulzeit noch manifestieren, sind grau hinterlegt.

| GV-Nummer | alle Fehlvorstellungen der Fünftklässler, die bei mehr als 3% der Probanden in den Fragebögen aufgetreten sind | alle in % | Jg. 5 in % | Jg. 8 in % | Jg. 10 in % | alle SH in % |
|-----------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | | | | | | |
| | Anzahl der Probanden | 784 | 168 | 168 | 168 | 280 |
| 91. | Energie kann hergestellt und verbraucht werden. | 65,1 | 36,3 | 61,3 | 76,2 | 77,9 |
| 19. | Energie ist in Stoffen/Dingen/Lebewesen/Teilen von Lebewesen nicht im ganzen Objekt verteilt, sondern nur an bestimmten Stellen. | 26,8 | 36,3 | 32,1 | 24,4 | 19,3 |
| 3. | Energie wird für Lebensvorgänge verbraucht. | 53,6 | 30,4 | 47,0 | 65,5 | 64,3 |
| 37. | Energie ist für den physischen/psychischen Zustand von Lebewesen zuständig; Energie ist „etwas“, was man anregen, steigern, verlieren, trainieren kann (Energie als Ursache für Fitneß, Wohlbefinden, Unlust, Gesundheit) - Lebendiges hat Energie, Totes hat keine. | 22,3 | 26,8 | 28,6 | 16,7 | 19,3 |
| 5. | Energie ist etwas "Stoffliches". | 33,3 | 26,2 | 36,9 | 45,8 | 27,9 |
| 52. | Pflanzen nehmen Energie durch Wurzeln/aus dem Boden auf. | 23,2 | 26,2 | 25,0 | 29,2 | 16,8 |
| 82. | Energie ist in Lebewesen dort/dort gespeichert, wo sie (zumeist) etwas "mit Sinnen Wahrnehmbares", etwas Offensichtliches vollbringen kann (hauptsächlich in bewegten u. bewegbaren Körperteilen: Gliedmaßen, deren Muskeln u. im Kopf) + Negation der Aussage. | 15,1 | 20,8 | 16,1 | 19,0 | 8,6 |
| 17. | Vitamine werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. | 11,2 | 20,2 | 16,1 | 10,7 | 3,2 |
| 90. | Wasser ist Energie(speicher) für Lebewesen. | 12,9 | 17,9 | 17,3 | 13,1 | 7,1 |
| 89. | Pflanzen nehmen Energie durch Wasser auf. | 12,2 | 17,3 | 16,7 | 13,1 | 6,1 |
| 9. | Nahrung/Nahrungsbestandteile/Stoffe sind Energie. | 8,9 | 13,7 | 7,7 | 9,5 | 6,4 |
| 44. | Sonne ist Wärmespende (spendet Energie nicht in Form von Licht oder kurzweiliger Strahlung), Sonne spendet Energie nur in Form von Wärme. | 10,6 | 11,9 | 10,1 | 13,7 | 8,2 |
| 30. | Energie kann direkt in „etwas“ umgewandelt werden. | 17,2 | 10,7 | 14,9 | 19,0 | 21,4 |
| 1. | Energie wird in Lebewesen/im Körper hergestellt (z.B. aus Nahrung). | 28,4 | 8,9 | 25,0 | 29,8 | 41,4 |
| 31. | Energie selbst bewirkt Reaktionen/produziert etwas (z.B. Prickeln auf der Haut, Wärme). | 23,2 | 8,3 | 20,8 | 27,4 | 31,1 |
| 14. | Vitamine sind Energielieferanten für den Menschen. | 2,3 | 6,0 | 3,6 | 0,6 | 0,4 |
| 83. | Der Magen-Darm-Bereich ist Umwandlungsstelle/Umleitstelle für Energie. | 1,9 | 6,0 | 1,2 | 0,0 | 1,1 |
| 12. | Nahrungsbestandteile/aufgenommene Stoffe/Lichtstrahlen werden direkt in Energie/Energiespeicher (ATP) umgewandelt. | 10,3 | 4,8 | 4,2 | 8,9 | 18,2 |
| 7. | Energie ist ein eigener - quasi zusätzlicher - Bestandteil von Stoffen/Nahrung/Strahlung. | 8,5 | 4,8 | 9,5 | 11,9 | 8,2 |
| 48. | Lebewesen nehmen Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge in Form von Wärme auf. | 12,0 | 4,2 | 8,3 | 12,5 | 18,6 |
| 16. | Energie wird mit den Adjektiven „gesund, unbehandelt, natürlich“ und den Substantiven „Obst, Müsli“ in Verbindung gebracht. | 1,8 | 4,2 | 1,8 | 1,2 | 0,7 |
| 6. | Energie wird verbrannt. | 9,7 | 3,6 | 13,7 | 15,5 | 7,5 |
| 57. | Bewegung/Muskelbewegung braucht (viel) Energie - Abläufe beim Denken brauchen jedoch wenig Energie. | 3,7 | 3,6 | 4,8 | 3,0 | 3,6 |
| 54. | Luft/Sauerstoff/Stickstoff/Kohlendioxid sind Energieträger/übertragen Energie zwischen Pflanzen, Tieren und Menschen. | 2,9 | 3,6 | 3,6 | 1,8 | 2,9 |
| 46. | Pflanzen nehmen (für ihre Lebensvorgänge) Energie in Form von Wärme auf. | 2,7 | 3,0 | 1,8 | 1,2 | 3,9 |
| 18. | Spurenelemente werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. | 2,3 | 3,0 | 3,6 | 1,8 | 1,4 |
| 20. | Vitamine selbst sind Energie. | 1,4 | 3,0 | 0,6 | 1,8 | 0,7 |

Ähnliche Überlegungen gelten für den Unterricht im Jahrgang 6. Auch hier sollte in Hinblick auf die oben geführte Argumentation das Thema Photosynthese *ohne* den Energiebegriff erarbeitet werden. Die Notwendigkeit des Lichts für den erfolgreichen Ablauf des Prozesses reicht zum Verständnis aus und knüpft an die alltäglichen Erfahrungen, dass Pflanzen ohne Licht eingehen. Die Verwendung des Energiebegriffs steigert auf der Phänomenebene auch hier nicht das Verständnis. Die Einführung des Energiebegriffs sollte aus diesen Überlegungen in der Biologie erst im 8. Jahrgang mit dem sogenannten "Ökologischen Jahr" beginnen (vgl. Lehrpläne SI, GY, NRW, Tab. 2-3, S. 39). Dabei können die im Bereich der Ökologie behandelten Themen durch den Energiebegriff strukturiert und wichtige Erkenntnisse mit Hilfe dieses Begriffs sprachlich präzise formuliert werden. Denn nun ist es möglich, auf einen Energiebegriff zurückzugreifen, der zuvor durch die Fächer Chemie und Physik in den Jahrgängen 5 bis 7 bei der Erarbeitung von "Speicherung, Transport und Entwertung von Energie bei Umwandlungsprozessen" definiert wurde (vgl. auch ARZI 1988).

Diese spätere Einführung des Energiebegriffs fördert die in Leitlinie 2 (S. 230) vorgeschlagene Zweisprachigkeit, da sich so bei den Schülern bis zur 8. Jahrgangsstufe ein weniger durch Schulunterricht beeinflusstes Alltagswissen herausbildet, zu dem dann gezielt die zweite wissenschaftliche Bedeutung des Energiebegriffs konstruiert werden kann.

Die Schlussfolgerung, dass die Fehlvorstellungen zum Energiebegriff, die bereits zu Beginn der Sekundarstufe I häufig in Äußerungen von Schülern zu finden sind, nahelegen, bereits in der 5. Jahrgangsstufe im Biologieunterricht den Energiebegriff einzuführen, ist praktisch kaum umzusetzen. Zur Energiethematik fehlen der Biologie altersgerechte Phänomene und daraus ableitbare Fragestellungen und Versuche, die den Schülern einen experimentellen Zugang zum Energiebegriff ermöglichen. Das bloße Benutzen von Analogien (Vergleiche zwischen Energie und Nahrung bzw. Energie und Kraftstoffen wie Benzin) birgt die oben beschriebene Gefahr, dass die Schüler der Energie die Eigenschaften eines Stoffes zuschreiben¹⁰. Würden Versuche aus der Physik und Chemie unternommen, um bereits in der 5. Jahrgangsstufe die Grundlagen für ein naturwissenschaftlich korrektes Energieverständnis zu legen, so erscheint eine derartige Betonung chemischer und physikalischer Betrachtungen im Biologieunterricht allein in Hinblick auf das *weite Feld wichtiger "rein" biologischer Phänomene* unangebracht. Ob die Schüler der 5. Jahrgangsstufe überhaupt einen Zugang für die Fragestellungen solcher Versuche hätten, darf bezweifelt werden.

Ab wann es sinnvoll erscheint, den Energiebegriff einzuführen, scheint im Bereich der Fachdidaktik Biologie wenig diskutiert zu werden. Entsprechende Veröffentlichungen, die sich ausführlich und nicht nur am Rande (wie z.B. ZÖLLER 1971) mit der Einführung des Energiebegriff im Biologieunterricht beschäftigen, konnten nur aus dem Bereich der Physik und Chemie gefunden werden. Der Termin der Einführung ist hier umstritten. WARREN (1982) schlägt in Hinblick auf die von ihm ermittelten Lernschwierigkeiten zum Energiebegriff vor, das Wort "Energie" aus dem Anfangsunterricht des Physikunterrichts zu streichen, LIJNSE (1990) widerspricht und verweist auf das Erfassen übergeordneter Zusammenhänge, welches durch die Erarbeitung eines Energieverständnisses erreicht werden kann.

(4) Den Energiebegriff in der Biologie im Zusammenhang mit dem "Ordnungsgrad der Teilchen" unter Zuhilfenahme eines Steckbaustein-Modells einführen.

Für die Erarbeitung energetischer Aspekte in der Biologie erscheinen folgende Lernziele bzw. Aussagen zu Energie sinnvoll:

- *Energie ist mit einer Zahl erklärbar*, die man einem Körper zuordnen kann und die ausdrückt, wie viele *Möglichkeiten zur Veränderung* er an sich selber oder an anderen Körpern besitzt (Statt "Körper" sollte bei älteren Schülern der Ausdruck "System" verwandt werden, da in der Biologie auch Moleküle und Strahlung wichtig sind, die mit dem Ausdruck Körper nicht abgedeckt sind):

¹⁰ Ein Beispiel für die Gefahr, dass eine frühe Einführung des Energiebegriffs im Biologieunterricht zu einer Festigung der falschen "stofflichen Eigenschaften von Energie" führt (Energie kann hergestellt und verbraucht werden.), zeigt sich in den Formulierungen eines Artikels von ZÖLLER (1971) zum Anwenden der Modellvorstellungen "Verbrennung" bei katabolen Stoffwechselprozessen. Hier heißt es: "Die Art der Energieerzeugung ist beim Motor und bei Lebewesen sehr verschieden, gleich aber, daß dem Auto zur Energiegewinnung der Treibstoff und dem Körper bestimmte Nahrungsstoffe (nicht: Brennstoffe) dienen." (Unterstreichung durch den Autor). Das Wissen der Kinder, dass Autos zum Antrieb Benzin benötigen und verbrauchen, sollte nicht mit dem Wort Energie in Verbindung gebracht werden, da sonst fachlich falsche Vorstellungen gefestigt werden können, wie sie im Zitat von ZÖLLER zu finden sind.

Beispiel aus der Physik: Eine gespannte Feder kann sich zusammenziehen (Veränderung an sich selber) oder einen Ball hochziehen (Veränderung an sich und einem anderen Körper);
 Beispiel aus der Biologie: In Konzentrationsunterschieden, wie sie z.B. in Bezug auf K^+ - und Na^+ -Ionen bei Nervenzellen zu beobachten sind, steckt die "Möglichkeit zur Veränderung". Die am Aufbau des Konzentrationsunterschieds beteiligten Körper (hier Ionen) können sich gleichmäßig verteilen, ohne andere Körper direkt zu beeinflussen (Veränderung an sich selber), oder aber die den Konzentrationsunterschied aufbauenden Körper können, wie z.B. Protonen an den Membranen der Mitochondrien, Enzyme so beeinflussen, dass diese ATP herstellen (Chemiosmose) (Veränderung anderer Körper).

- Alle *Lebensvorgänge benötigen Energie*, da diese Vorgänge stets eine "Veränderung" (s.o.) darstellen. Für biochemische Vorgänge soll ergänzt werden: "Möglichkeiten zur Veränderung" können mit dem "*Ordnungsgrad von Teilchen*" gleichgesetzt werden: Komplexe Moleküle wie Glucose haben einen höheren "Ordnungsgrad von Teilchen" und damit mehr Möglichkeiten zur Veränderung als einfache Moleküle wie Kohlenstoffdioxid oder Wasser. *Lebensvorgänge* (außer Photosynthese und Chemosynthese) *erniedrigen den Ordnungsgrad an Teilchen* von Molekülen in Lebewesen. Von Lebewesen aufgenommene Wärme führt zu einer vermehrten Teilchenbewegung und damit *nicht* zu einer Erhöhung der Ordnung von Molekülen, die für Lebensvorgänge genutzt werden könnte.

In unteren Jahrgangstufen kann die "Möglichkeit zur Veränderung" durch "Möglichkeit zur Bewegung" konkretisiert werden. In höheren Jahrgangstufen, in denen neben makroskopischen Phänomenen auch mikroskopische und amikroskopische Strukturen und Prozesse thematisiert werden, müsste bei der Besprechung biochemischer Abläufe die Bewegung auch auf die molekulare Ebene erweitert werden. Zu präzisieren wäre hier dann die Bewegung in gerichteten Abläufen in Abgrenzung zur ungeordneten Teilchenbewegung (Brown'sche Molekularbewegung).

- Die Möglichkeit zu Veränderung (*Energie*) kann in *verschiedenen Formen* auftreten. Für die Biologie sind besonders die Energieformen Bewegung, Wärme (als "Abfallprodukt" bei Energieumwandlungsprozessen und als Voraussetzung für den Ablauf von Reaktionen in Form von Aktivierungsenergie) sowie chemische Bindungsenergie, Strahlungsenergie und Energie in Form von Konzentrationsunterschieden wichtig. Nur bestimmte Energieformen (Autotrophe: Strahlungsenergie und chemische Bindungsenergien; Heterotrophe: chemische Bindungsenergien) können von Organismen für Lebensvorgänge genutzt werden.

- Die Energiemenge ist im Universum konstant.
- Bei der Umwandlung von einer Energieform in eine andere entsteht in Lebewesen Wärme, die an die Umwelt abgegeben wird.
- Wärme kann von Lebewesen nicht wieder in eine andere Form der Energie umgewandelt werden. Da, wie beschrieben, bei Energieumwandlungsprozessen in Lebewesen stets Wärme frei wird, ist eine Umwandlung von Energie in Lebewesen mit einem Verlust an für die Lebewesen nutzbarer Energie verbunden: Leben kann

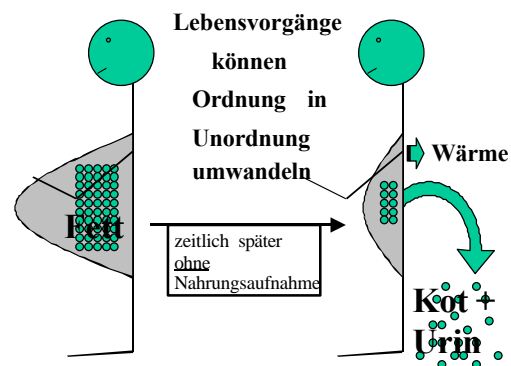


Abb. 5-4: Lebensvorgänge können Ordnung der Teilchen in Unordnung umwandeln.

Ordnung in Unordnung umwandeln (vgl. Abb. 5-4, S. 238). Dieser Verlust wird durch Energieaufnahme ausgeglichen.

- Triebfeder biochemischer Vorgänge ist (in der Regel) das "Streben" der Teilchen, einen Zustand niedrigerer Ordnung einzunehmen. Der Vorgang der Photosynthese ist herausragend und wichtig für fast alle Lebensvorgänge auf der Erde, weil sie den "Ordnungsgrad der Teilchen" auf der Erde erhöht (aus den energiearmen einfachen Molekülen Wasser und Kohlenstoffdioxid wird das energiereichere und komplexere Molekül Glucose). Beim Prozess der Zellatmung läuft gemäß dem "Streben" nach einem Zustand niedrigerer Ordnung der Prozess entgegengesetzt ab.
- Die Evolution der katabolen Stoffwechselfvorgänge kann als Entwicklung von Prozessen beschrieben werden, die die in komplexen Molekülen gespeicherte Energie für Lebewesen vollständiger nutzbar machen (vgl. Abb. 5-5). Beim Prozess der Zellatmung wird im Vergleich zur Gärung eine höhere Anzahl von chemischen Bindungen aufgelöst.

Die gewählte Umschreibung für Energie "Möglichkeit zur Veränderung" ähnelt der verbreitet in Schulbüchern zu findenden Aussage "Energie ist die Fähigkeit eines Körpers, Arbeit zu verrichten.". TRUMPER & GORSKY (1993) lehnt diese Definition von Energie ab, da Schüler mit ihr keinen Bezug zu Alltagserfahrungen herstellen können. Diese Einschätzung wird geteilt. Der Begriff "Arbeit" wird deshalb durch "Veränderung" ersetzt, denn Veränderung ist beobachtbar. Außerdem beschreibt der Begriff Veränderung in der Biochemie - und für biochemische Umwandlungsprozesse wird in der Schulbiologie der Energiebegriff zentral eingesetzt, vgl.

Lehrplananalyse (Kap. 2.2.2.1, S. 38f) - die Veränderung, die Umgestaltung an Molekülen oder die Bewegung von Teilchen besser als der Begriff "Arbeit".

Die Definition von Energie als "Ordnungsgrad der Teilchen" erscheint in Hinblick auf Lebewesen insofern sinnvoll, als sie die verbreitete Fehlvorstellung berücksichtigt, dass Lebewesen ihre Energie in Form von Wärme aufnehmen (vgl. Vorstellungsgedäude C1, S. 191). Wärme führt zu einer Erniedrigung der Ordnung (gleichzusetzen mit einer erhöhten Teilchenbewegung) und damit nicht zu einer Erhöhung der Ordnung in Molekülen, die für weitere Lebensvorgänge als Energiequelle genutzt werden kann.

In vielen eigenen Unterrichtssituationen ist deutlich geworden, dass Verständnisschwierigkeiten für Abläufe in der Biologie - insbesondere bei biochemischen Abläufen - durch eine fehlende Einsicht in die Triebfeder der Vorgänge zustandekommen (vgl. auch ANDERSON et al. 1990b, BARAK & GORODETSKY 1999). Eine typische und zentrale Frage der Schüler im eigenen Unterricht war: "Warum laufen die einzelnen chemischen Reaktionen bei der Photosynthese so und nicht anders ab?". Viele Reaktionsschritte werden auswendig gelernt, ohne ihre Sinnhaftigkeit verstanden zu

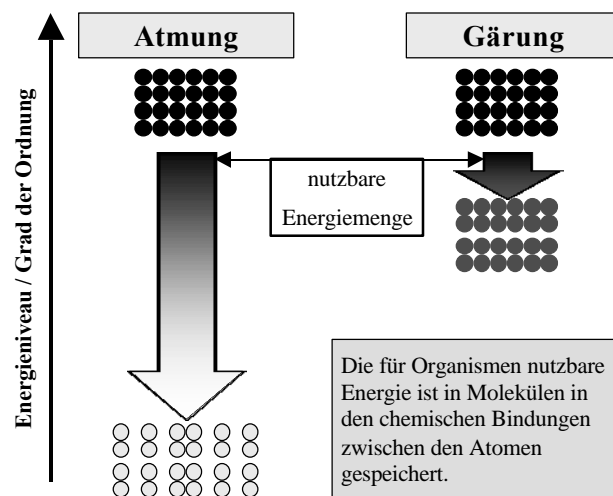


Abb. 5-5: Evolution der katabolen Stoffwechselfvorgänge

haben. Durch das Streben der Teilchen zu mehr Unordnung kann diese Triebfeder der Abläufe, das verbindende und steuernde Element zwischen den einzelnen Reaktionsschritten, den Schülern leicht vermittelt werden.

Die verschiedenen Redoxpotentiale bei den Reaktionen der Assimilation und Dissimilation können mit "energetisch höherem und damit instabilerem Zustand (höherer Grad an Ordnung) bzw. niedrigerem und damit stabilerem Zustand (niedrigerer Grad an Ordnung)" erklärt werden (vgl. Abb. 5-6). (Ausnahmen s.u.)

In den eigenen Unterrichtsversuchen hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die beschriebenen Zusammenhänge mit Hilfe des hierzu entwickelten *Steckbaustein-Modells* zu verdeutlichen:

Steckbausteine (z.B. Legosteine) stellen in diesem Modell Atome dar, die zu verschiedenen komplexen und damit verschieden energiereichen Molekülen zusammengesetzt werden können. Der Halt zwischen den Steinchen symbolisiert die chemische Bindungsenergie, die die Atome zusammenhält. Die Energie, die man aufwenden muss, um die Steinchen zusammenzuführen, stammt in der Natur bei autotrophen Organismen aus dem Licht (Photosynthese) und bei heterotrophen Organismen aus Abbauprozessen von komplexen Molekülen zu weniger komplexen und damit energieärmeren Molekülen (Zellatmung/Gärung, vgl. Abb. 5-5, S. 239).

Die Energiemenge, die aufgebracht werden muss, um den Druckpunkt zu überwinden, bis die Steine selbständig weiter ineinanderrasten (Stoffaufbau, endergone Reaktion), bzw. die Energiemenge, die aufgebracht werden muss, bis zusammengefügte Steine so weit gelockert sind, dass sie durch die Federkraft der Verbindungsnoppen selber weiter auseinander fliegen (Stoffabbau, exergone Reaktion), kann mit der Aktivierungsenergie verglichen werden. Mit Hilfe der so veranschaulichten Zusammenhänge zur Aktivierungsenergie kann den Schülern leicht verdeutlicht werden, warum z.B. energiereiche Traubenzuckermoleküle unter Anwesenheit von Sauerstoff ohne entsprechende Aktivierungsenergie bzw. ohne Einsatz von Enzymen zur Erniedrigung der nötigen Aktivierungsenergie auf Körpertemperatur nicht "von alleine" zu den energieärmeren Verbindungen Wasser und Kohlenstoffdioxid zerfallen.

Die in der Natur zu beobachtende Aufrechterhaltung einer Ordnung (z.B. eines Lebewesens) über bestimmte Zeiträume hinweg, die Vergänglichkeit biologischer Strukturen und die Möglichkeiten, diese Vergänglichkeit zu beschleunigen bzw. zu verlangsamen (erhitzen im Ofen oder kühlen im Eisschrank), wird so den Schülern verständlich.

Je nach Jahrgangsstufe kann das Modell erweitert werden. So kann z.B. die Tatsache besprochen werden, dass es verschiedene Atome (Legosteine verschiedener Farben, Formen und Größe) gibt, die verschiedene Bindungseigenschaften (Anzahl und Anordnung der Verbindungsnoppen) besitzen. Auch Schwachstellen des Modells können herausgestellt werden. So kann z.B. mit Blick auf die verschiedenen Energiemengen unterschiedlicher chemischer Bindungen thematisiert werden,

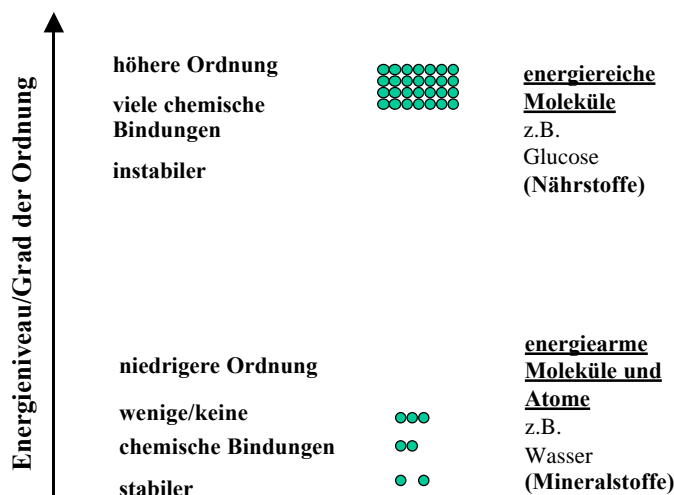


Abb. 5-6: Energiegehalt von Stoffen

dass die Komplexität eines Moleküls nicht immer proportional zu der in ihm steckenden chemischen Bindungsenergie ist. Diese Tatsache zeigt sich z.B. darin, dass sich Sauerstoff und Wasserstoff während der Knallgasreaktion zum stabileren Wassermolekül vereinigen. Dieser freiwillig unter Energieabgabe ablaufende Vorgang lässt in der Modellvorstellung augenscheinlich Ordnung entstehen und widerspricht damit der Grundaussage, dass bei allen Vorgängen die Teilchen zu einem Grad höherer Unordnung streben.

Das Modell eignet sich nach eigenen Erfahrungen *trotz* der Einfachheit und der damit verbundenen *Ungenauigkeit* in der Sekundarstufe I und Sekundarstufe II sehr gut, die Prinzipien, die den biologischen Energiefluss kennzeichnen, zu besprechen. Der dem Modell zugrundeliegende Ansatz, Energie mit dem Ordnungsgrad der Teilchen zu erklären, hat sich dabei für die im Unterricht behandelten Themen als *tragfähig* erwiesen (vgl. hierzu auch die Auflistung zu Themen des Biologieunterrichts, die sich für eine (zusätzliche) energetische Analyse besonders eignen, S. 43f).

Wie die ermittelten Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" mit der Modellvorstellung aufgegriffen werden können, skizzieren die folgenden Erläuterungen.

Mit Hilfe des Steckbaustein-Modells kann die bereits erwähnte verbreitete Fehlvorstellung, dass Pflanzen sich über den Boden mit Nährstoffen versorgen, leicht thematisiert werden: Die in den Nährstoffen für Lebewesen gespeicherte Energie ist zwischen den Atomen (Legosteinen) gespeichert. *Nährstoffe* sind deshalb relativ komplexe Moleküle aus vielen Steinen und damit mit einer hohen Ordnung. *Mineralstoffe/Mineralsalze* dagegen sind einfache Strukturen (aus einem oder nur wenigen Steinen aufgebaut), in denen nur wenig Energie gespeichert ist. Mineralstoffe können deshalb nicht als Energielieferanten, sondern nur als Baustoffe für komplexere Moleküle dienen. Ähnliches gilt für die Rolle der Vitamine, Spurenelemente und des Wassers bei der Energieversorgung von Organismen (vgl. VG C-2 (S. 192), C-4 (S. 194); vgl. BOO 1998).

Ebenfalls anhand der Legosteine (viele Steine aus nur zwei verschiedenen Farben) lassen sich die energetischen Abläufe beim Aufbau und Abbau von Konzentrationsunterschieden verdeutlichen, wie sie z.B. bei der Osmose von Pflanzenzellen oder an den Membranen von Nervenzellen zu beobachten sind. Der niedrigste Ordnungszustand liegt vor, wenn die Steine ungeordnet auf dem Tisch liegen. Zieht man eine Grenzwand mit nur einem Loch und ordnet durch Verschieben die Steine nach ihrer Farbe, wird ein Konzentrationsgradient aufgebaut. Die Steine müssen eine gerichtete Bewegung hin zu einer Seite der Linie erfahren. Dieses Ordnen der Steine erhöht die Ordnung und damit die gespeicherte Energie. Das Streben nach größtmöglicher Unordnung ist nun die Triebfeder für weitere Veränderung, nämlich für das Wandern der Steine, bis eine Gleichverteilung erreicht ist. Das Streben nach maximaler Unordnung verdeutlicht die in dem geordneten Zustand gespeicherte Energie: So könnte man sich modellhaft ein Schaufelrad so an dem Loch angebracht vorstellen, dass durch das "Zurück"strömen der Steine - um wieder eine Gleichverteilung zu erreichen - eine Bewegung auftritt und damit nutzbare Energie (Möglichkeit zur Veränderung) frei wird: Die Energie des Konzentrationsunterschiedes wird in Bewegungsenergie des Schaufelrades umgewandelt. Der Vergleich zu biologischen Strukturen wie z.B. der Kalium-Natrium-Pumpe in Nervenzellen (hier Aufbau von Konzentrationsunterschieden und damit elektrischer Spannung von ca. -60mV durch aktiven Transport von Ionen) oder dem ATPasekomplexe bei der Endoxidation an Membranen der Mitochondrien (hier strömen H^+ -Ionen vom Intermembranenraum in die Matrix) liegt nahe.

Durch die Besprechung der energetischen Abläufe bei Nervenzellen kann das Vorstellungsgebäude B2-3 "Energie wird dort umgewandelt, wo auch Energie gespeichert ist bzw. wo das mit Sinnen wahrnehmbare "Folgeprodukt" der Energie gebraucht wird." (S. 190) aufgegriffen werden. Durch

die Thematisierung der Vorgänge in den Nervenzellen mit Hilfe des Steckbaustein-Modells wird deutlich, warum im Gehirn an den Nervenzellen ein großer Teil der Energieumwandlung im menschlichen Körper stattfindet.

In den Assoziationstests zum Stichwort "Energie" bzw. zum Stichwortpaar "Energie-Biologie" fiel auf, dass die befragten Schüler nur sehr wenige Worte zum Dissimilationsstoffwechsel äußerten. So lag z.B. die Nennhäufigkeit der Worte Mitochondrien, Glycolyse, Atmung und Atmungskette meist deutlich unter 5 % (vgl. S. 136). Durch die oben angedeutete Thematisierung der Abläufe in den Mitochondrien kann die Stellung der Dissimilation für Lebensvorgänge sowie die Stellung der für diese Prozesse wichtigen Einzelabläufe und strukturellen Voraussetzungen deutlicher als im bisherigen Unterricht hervorgehoben werden. Ein durch den Modelleinsatz besseres Verständnis der Stoffwechselfvorgänge - im Gegensatz zum bloßen Auswendiglernen und anschließenden Vergessen - dürfte die genannten Worte stärker mit dem Thema Energie gedanklich verknüpfen.

Mit Hilfe des Steckbaustein-Modells und der Beziehung zwischen Ordnung und Energie kann des Weiteren die Fehlvorstellung aufgegriffen werden, dass sich die Energie in Biomasse nur an bestimmten Orten "aufhält" (VG B1-1, S. 181). Da z.B. das gesamte Fruchtfleisch eines Apfels süß schmeckt, diese Süße von Zucker her rührt und Zucker als eine komplexere Struktur mit einer größeren Menge an Energie eingeführt wurde, kann geschlossen werden, dass nicht nur die Schale oder der Bereich unmittelbar darunter - wie von vielen Schülern angegeben - sondern der gesamte Apfel Energie chemisch gespeichert hat.

SCHLÖSSER (1993) weist für das Verständnis biochemischer Abläufe auf das Wissen über Bindungsenergien hin.

Durch das Steckbaustein-Modell kann die Bedeutung der (chemischen) Bindungsenergien zwischen Atomen hervorgehoben und anknüpfend an die Vorstellungen der Schüler gut verständlich vermittelt werden: Die für Lebewesen nutzbare Energie ist zwischen den Molekülbestandteilen (Steinen) gespeichert, die Energie der Bausteine selber ist dagegen nicht nutzbar. Sie kann jedoch in technischen Abläufen wie der Kernspaltung oder der Kernfusion unter lebensfeindlichen Druck- und Temperaturverhältnissen erschlossen werden. Die nutzbare Menge der (inneren) Energie eines Moleküls kann mit einer Zahl angegeben werden. Mit Hilfe dieser Erläuterungen kann die häufige Fehlvorstellung aufgegriffen werden, dass Energie etwas "Stoffliches" bzw. Energie ein eigener zusätzlicher Bestandteil von Stoffen sei (VG A1-1, S. 177).

Um die Unterschiede zwischen Stoffkreislauf und Energiefluss deutlich hervorzuheben - viele Schüler haben die Auffassung, dass Energie einem Stoff gleich auf der Erde kreist (VG C-6, S. 196) - ist es wichtig, die thermische Bewegung (Wärme) als für Lebewesen und nicht für Lebensvorgänge nutzbare und damit entwertete Energie zu kennzeichnen. Mit der Beschreibung, dass durch Wärme zwar eine erhöhte Teilchenbewegung, aber keine höhere Ordnung entsteht, wird deutlich, dass Organismen keine Energie für Lebensvorgänge in Form von Wärme aufnehmen können.

Die Bedeutung der thermischen Energie als Aktivierungsenergie kann, wie oben bereits angedeutet, ebenfalls mit dem Steckbaustein-Modell erklärt werden (vgl. Leitlinie 6, S. 246)

Beim Wachstum von Lebewesen entsteht Ordnung. Energiereiche und komplexe Moleküle werden aus weniger komplexen und energieärmeren Baustoffen aufgebaut, was bei heterotrophen Organismen nur möglich ist, wenn gleichzeitig mit der Nahrung genügend komplexe Moleküle aufgenommen werden. Sie werden zu einfachen Molekülen abgebaut, und ihre Energie wird über Ener-

gieträger (z.B. ATP) zu Stellen im Körper transportiert, an denen aus den energieärmeren Baustoffen komplexe Moleküle aufgebaut werden sollen. Der Aufbau von Ordnung im Lebewesen ist demnach nur möglich, wenn gleichzeitig die Unordnung in der Umgebung steigt: komplexe Nahrungsmoleküle werden der Umgebung entzogen, und einfache Abbauprodukte des Stoffwechsels werden abgegeben. Gleichzeitig steigt die Unordnung in der Umgebung durch die Abgabe von Wärme (Teilchenbewegung) (vgl. auch SCHMIDT-SUDHOFF 1993). Der Auf- und Abbau von Strukturen ist dabei zumeist räumlich und zeitlich getrennt (vgl. Abb. 5-7).

Resümee: Die Hervorhebung energetischer Aspekte ermöglicht es vor der Erarbeitung insbesondere biochemischer Prozesse, die übergeordneten Prinzipien zu klären, um in das so konstruierte Vorwissen die komplexen Detailinformationen einordnen zu können. Dabei hat es sich im eigenen Unterricht sowohl für Schüler der Sekundarstufe I als auch für Schüler der Sekundarstufe II als verständnisfördernd herausgestellt, Energieumwandlungsprozesse ohne die Betrachtung ihrer Umgebung und ohne die Betrachtung der verschiedenen Energiegehalte, die die verschiedenen chemischen Bindungsarten besitzen, einzuführen: Durch das Umgehen von biologischen Vorgängen, bei denen die allgemeine

Tendenz zur Abnahme der Ordnung erst bei der gleichzeitigen Betrachtung ihrer Umgebung deutlich wird (z.B. Faltung von Proteinen, vgl. Textbox S. 25), und durch das Umgehen der Tatsache, dass es verschieden energiereiche chemische Bindungen gibt (hervorgehoben wird die Faustregel: Komplexere Moleküle mit vielen Bindungen sind labiler und damit energiereicher als kleinere, stabilere Moleküle), konnte ein leicht verständliches und sehr häufig anwendbares grundlegendes Vorwissen aufgebaut werden. Eine derart vereinfachte Sichtweise der energetischen Zusammenhänge reichte für Schüler der Sekundarstufe I aus, um allen Themen, die laut Lehrplan für Gymnasium und Gesamtschule (vgl. Kap. 2.2.2.1, S. 38f) anzusprechen sind, eine zusätzliche energetische Betrachtungsebene zuzuordnen. Die Triebfeder der einzelnen (Teil-)Abläufe und die Zusammenhänge zwischen ihnen konnten aufgezeigt werden (vgl. auch KÖHLER 1999).

Da die meisten in der Oberstufe zu behandelnden Vorgänge, wie z.B. die Ausgleiche von Konzentrationsgefällen bei elektrischen Vorgängen an Nervenzellen oder bei der ATP-Synthese in Mitochondrien und Plastiden, mit einer Entropiezunahme verbunden sind, konnten die oben beschriebenen Vereinfachungen auch in der Sekundarstufe II beibehalten werden.

Bei den komplexen biochemischen Abläufen der Photosynthese (hier insbesondere der Elektronentransportkette) und der Zellatmung (hier insbesondere der Glycolyse und des Citratzyklusses) konnte durch das Angeben von Redoxpotentialen der Übergang von labileren, energiereicheren zu stabilen, energieärmeren Verbindungen und damit die Triebfeder der Reaktionen verdeutlicht werden.

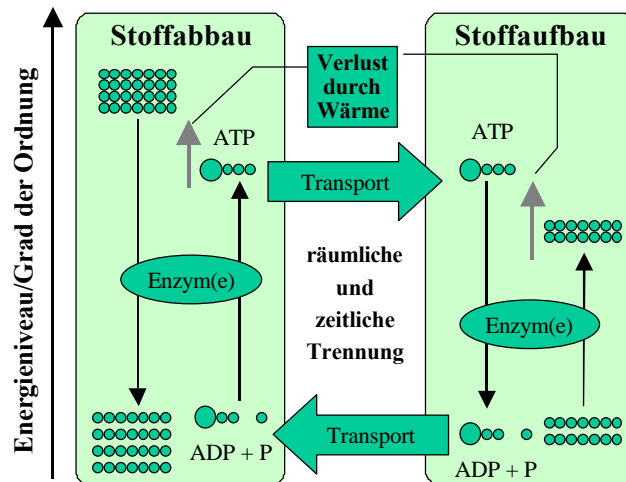


Abb. 5-7: Energetische Kopplung zwischen Stoffaufbau und Stoffabbau

Diskussion zur vorgeschlagenen Einführung des Energiebegriffs im Biologieunterricht

- Bewirkt die vorgeschlagene Einführung des Energiebegriffs für Analysen im biologischen Kontext, dass die Schüler den Energiebegriff in allen drei Naturwissenschaften neu und anders lernen und so das Ziel eines einheitlichen Energieverständnisses nicht erreicht wird?

Diese Frage kann in Anlehnung an die Ergebnisse der TIMMS-Studie (BAUMERT et al. 1997) nur positiv beantwortet werden. Deshalb ist es besonders wichtig, dass die Vorschläge dieser Arbeit vor ihrer breiten schulischen Umsetzung mit den anderen Naturwissenschaften (zumindest pro Schule) abgeglichen werden (vgl. Forderung von MANTHEI 1991).

- Schadet ein einfaches, rein verbales Energieverständnis in der Biologie (ohne Rückbezug auf mathematische, physikalische und chemische Ausdrucksformen) den Zielen der Fächer Chemie und Physik in Hinblick auf deren Vermittlungsziele zur Energie?

Diese Frage kann aus Sicht eines Fachdidaktikers der Biologie nicht fundiert genug beantwortet werden und unterstreicht noch einmal die Eigenschaft dieser Vorschläge als *Diskussionsgrundlage* für eine fächerübergreifende Abstimmung (vgl. Forderung von TRUMPER 1990).

- Warum soll die für Schüler viable Bedeutung des Energiebegriffs im Biologieunterricht problematisiert werden?

Weil die alltäglichen falschen Energievorstellungen (vgl. Anhang VI) bei vielen alltäglichen Erklärungen und Entscheidungen zwar auf kurze Zeit und für einen kleinen Entscheidungsraum funktionsstüchtig, aber nicht sinnvoll in Hinblick auf längere Zeit und größere Zusammenhänge sind. Die Schülervorstellungen zu Energie erwachsen aus dem Nahbereich der Schüler und können auch nur hier erfolgreich angewandt werden. In übergeordneten, z.B. globalen ökologischen Zusammenhängen bleiben wichtige Vernetzungen durch die Schülervorstellungen zu Energie und die darin enthaltenen Trivialisierungen unerkannt:

Energie kann eben nicht verbraucht werden und ist dann weg. Die Folgeprodukte von Energieumwandlungsprozessen auf der Erde drohen augenblicklich ein Problem für das Erdklima zu werden (Treibhauseffekt).

Energie kann nicht verlustfrei zwischen Trophieebenen weitergegeben werden. Die Probleme der Welternährung sind mit Blick auf die hohe Fleischproduktion der Industrieländer schwerer zu lösen (vgl. Ausführungen in der Einleitung).

Biologisch viabel ist ein Energiebegriff, der nicht nur nützlich zur Erklärung von Teilprozessen wie der Glykolyse ist, sondern auch nachhaltig sinnvoll bei der Analyse übergreifender Zusammenhänge (vgl. Auflistung S. 33) einsetzbar ist. Demzufolge kommt es in der Schule nicht auf die Richtigkeit der zum Energiebegriff vermittelten Bedeutungen an, sondern darauf, dass sich für die Schüler aus der vermittelten Bedeutung brauchbare Handlungskonsequenzen gewinnen lassen. Provokant formuliert: Die wenigsten Schüler schlagen wissenschaftliche Karrieren ein und benötigen wissenschaftlich exakte Definitionen. Aber der vermittelte Energiebegriff muss die überwiegende Zahl der Schüler befähigen, die durch den Menschen beeinflussten Energieumwandlungsprozesse und die Umleitung von Energieströmen zu erkennen. Nur dann können auch die durch menschliche Beeinflussung hervorgerufenen Folgen angemessen bewertet und evtl. nötige Maßnahmen abgeleitet und ergriffen werden.

(5) Die beiden Aussagen:

- **"Bei Energieumwandlungen/bei Stoffwechselprozessen in Lebewesen wird ein Teil der Ausgangsenergie in Form von Wärme abgegeben." und**
 - **"Triebfeder kataboler Vorgänge ist das Streben zu niedrigerem Ordnungsgrad der Teilchen (Entropie)."**
- sollen als Heuristiken zu "Energie im biologischen Kontext" vermittelt werden.**

Heuristiken sind Vorgehensweisen, die bei ihrer Anwendung auf jeden Fall eine Lösung für ein Problem - wenn auch nicht unbedingt die optimale Lösung - erzielen. In diesem Sinne sollen die beiden in Leitlinie 5 genannten Aussagen zu "Energie im biologischen Kontext" ein leicht anzuwendendes Wissen sein, das bei seiner Anwendung auf einzelne Prozesse und übergreifende Zusammenhänge einen sinnvollen Beitrag zur Erschließung derselben bzw. zur Vorhersage der Abläufe liefert (in Anlehnung an REIMANN (1998), der in Hinblick auf medizinisches Wissen von "Wissenseinkapselung" spricht und damit die Vereinfachung der vormals komplexen kausalen Netzwerke zu vereinfachten/anwendungsfreundlichen Symptom-Krankheits-Assoziationen meint). Die Wichtung der zweiten Aussage "Triebfeder kataboler Vorgänge ist das Streben zu niedrigerem Ordnungsgrad der Teilchen (Entropie)." als Heuristik gilt nur eingeschränkt. Aus fachwissenschaftlicher Sicht muss die Bezeichnung Heuristik durch Faustregel ersetzt werden. Im Gegensatz zu einer Heuristik, die immer zu einer fachwissenschaftlich richtigen Lösung führt - wenn auch nicht immer zu einer optimalen Lösung - kann es zu einer Faustregel Ausnahmen geben. Zu der Aussage "Triebfeder kataboler Vorgänge ist das Streben zu niedrigerem Ordnungsgrad der Teilchen (Entropie)" existieren je nach Blickwinkel des Betrachters solche Ausnahmen. Werden nämlich energetisch offene Systeme betrachtet, kann es bei bestimmten, einzeln betrachteten Phänomenen so erscheinen, als würde es zu einer Zunahme der (inneren) Energie und damit zu einer Abnahme der Entropie kommen. In dieser Arbeit wurde das Beispiel der Proteinfaltung erwähnt (vgl. Textbox S. 25). Hier entsteht augenscheinlich "freiwillig" eine höhere Ordnung. Die beschriebene Heuristik stimmt erst dann wieder, wenn die Umgebung des sich faltenden Moleküls eingeschlossen wird.

Die Bezeichnung Heuristik ist trotz der erwähnten Einschränkung gewählt worden, weil die einfache Aussage zur Triebfeder biochemischer (kataboler) Vorgänge insbesondere für die Themenbereiche, die laut Lehrplananalyse im Biologieunterricht der Sekundarstufen vermittelt werden, heuristischen Charakter besitzt: Nach den gesammelten Unterrichtserfahrungen konnten die Schüler nämlich alle Phänomene, die ihnen im Unterricht vorgestellt wurden, selbstständig erschließen. Traten aufgrund der eingeschränkten Gültigkeit Fehldeutungen auf - was sehr selten und ausschließlich in der Oberstufe passierte (zumeist beim erwähnten Beispiel der Proteinfaltung bzw. beim self-assembly-Prozess von Viren) - wurde auf die erwähnten Gedankengänge (hier: System und Umgebung beachten) hingewiesen.

Die (universelle) Gültigkeit der beiden Heuristiken zu "Energie im biologischen Kontext" ermöglicht nach den gesammelten Unterrichtserfahrungen einen Beitrag zur horizontalen Vernetzung zwischen den Teilbereichen und zur vertikalen Vernetzung innerhalb der Teilbereiche der Biologie (u.a. zwischen molekularen (z.B. biochemischen) und makroskopisch sichtbaren Vorgängen eines Phänomens bei Lebewesen), zwischen den verschiedenen Naturwissenschaften und zwischen den Naturwissenschaften und dem Alltag der Schüler: *Die Heuristiken zur Energie wurden zum vernetzenden Roten Faden*. Die einfachen Inhalte beider Heuristiken wurden von den Schülern als Automatismen (im Sinne deklarativer Wissensstrukturen, die einen prototypischen Lösungsweg repräsentieren, vgl. Kap. 3.1.1.5, S. 72f) zur Auffindung von Bekanntem in neuen Problemsituatio-

nen genutzt (vgl. Kap. 2.2.1.4, Aspekt B, S. 37). Insbesondere die Aussage zur Wärmeproduktion bei Energieumwandlungsprozessen, die eine sprachliche Abwandlung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik darstellt, kann dabei auch außerhalb der Schule in der Lebenswelt der Schüler gewinnbringend angewandt werden. Z.B.: Je weniger Wärme ein technisches Gerät produziert, desto effizienter wird die aufgewandte Energie (Strom, Benzin, ...) für den beabsichtigten Zweck genutzt. Derartige Überlegungen können - wie u.a. in Kapitel 2.2.1.2 (S. 31) ausgeführt - die naturwissenschaftliche Stütze für eine im Sinne der Agenda 21 "nachhaltige Nutzung" der Energiequellen der Erde darstellen.

Durch die Heuristiken wird nicht die Sachstruktur im Biologieunterricht verändert, sondern lediglich ein *zusätzlicher* "Schwerpunkt der energetischen Analyse" zu ohnehin behandelten Themen eingeführt.

Insbesondere in den Themenbereichen Stoffwechselphysiologie und Ökologie sollten energetische Aspekte ein fester Roter Faden innerhalb der Themenbereiche sein (vgl. Erläuterungen zu möglichen Themen in der Biologie, die aus energetischer Sicht analysiert werden können, vgl. Kap. 2.2.2.2, S. 43f). Auch wenn theoretisch möglich sollten energetische Analysen jedoch nicht in jedem Themenbereich zu einem Schwerpunkt werden. Dagegen spricht in Hinblick auf die Fülle an Lernziele im Biologieunterricht (vgl. KM 1993; MSWWF 1999, 2000) die knappe Unterrichtszeit. Als in diesem Zusammenhang ungeeignete Themenbereiche sind hier Artenkenntnis, Gesundheits-erziehung und Sexualkunde genannt. Aber auch in diesen Themenbereichen lassen sich energetische Aspekte aufzeigen. So können im Themenbereich Artenkenntnis die besonderen Energieumwandlungsstrategien bestimmter Organismen thematisiert werden, z.B. die entkoppelte Atmungskette bei Aronstabgewächsen. Je nach gewählten Unterrichtsschwerpunkten kann also der verbindende Faden durch die Biologie auf vielfältige Art und Weise geknüpft werden.

(6) Leben als Umleitung und Einbahnstraße der elektromagnetischen Strahlungsenergie hin zur Wärme beschreiben.

Die Abwärme chemischer Reaktionen als Verlust bei Lebensvorgängen und Wärme als Voraussetzung für Lebensvorgänge (Aktivierungsenergie) herausstellen. Reibung spielt bei der Wärmeproduktion von Lebewesen eine untergeordnete Rolle.

Viele der erhobenen Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" weisen darauf hin, dass die Vorstellung "Energie kreist - einem Stoff ähnlich - auf der Erde" (VG C-6, S. 196) verbreitet ist. Dieses Vorstellungsgebäude beinhaltet zwei Aspekte.

1. Aspekt "Wärme"

Wärme wird von Lebewesen zu ihrer Energieversorgung aufgenommen und bei Lebensprozessen abgegeben, die Sonne spendet (zusätzlich) allen Lebewesen nutzbare Wärme.

2. Aspekt "Kreislauf von energiehaltigen Nährstoffen"

Pflanzen nehmen ihre Energie mit Nährstoffen aus dem Boden auf, diese Energie gelangt durch Nahrung in Tiere und Menschen und wird durch Ausscheidungsprodukte oder durch tote Organismen an den Boden zurückgegeben.

Diese Fehlvorstellungen sollen im Unterricht thematisiert werden, indem die Richtung des Energieflusses von Licht (elektromagnetischer Strahlung) über hoch geordnete Materie und wenig geordnete Materie bis hin zur Wärme verdeutlicht wird. Leben soll dabei als eine Umleitung und Einbahnstraße der elektromagnetischen Strahlungsenergie hin zu Wärme verstanden werden. Die Bezeichnung Umleitung ist aus folgenden Überlegungen heraus gewählt worden: Trifft elektro-

magnetische Strahlung auf der Erde auf unbelebte Materie, wird ein Großteil der Strahlungsenergie direkt (am selben Ort und zur selben Zeit) in Wärme(strahlung) umgewandelt (abiotischer Energiefluss, vgl. Abb. 5-8).

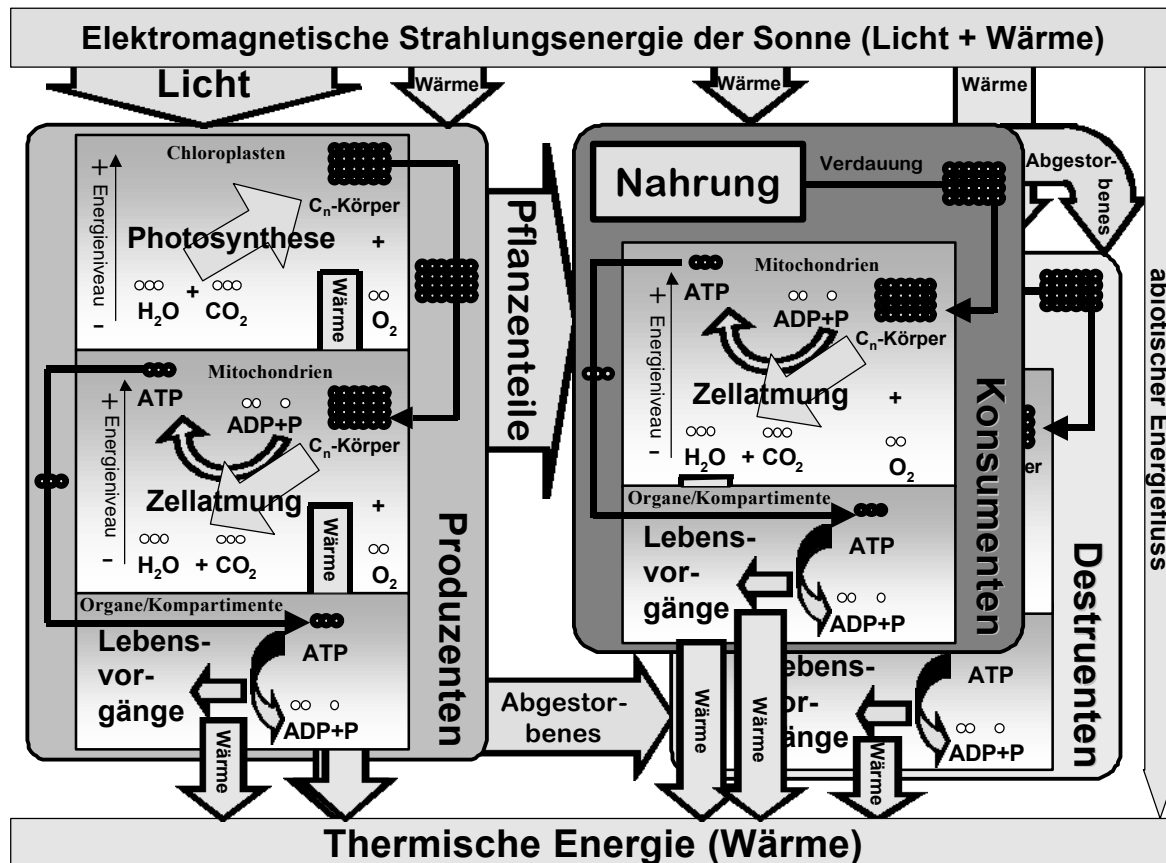


Abb. 5-8: Energiefluss in der Biosphäre

Dargestellt sind die energetischen Abläufe (Photosynthese, Zellatmung und weitere Lebensvorgänge (vgl. letzter Absatz der Bilderläuterung), zusammengefasst jeweils in Rechtecken mit Graustufenverlauf im Hintergrund) von Produzenten, Konsumenten und Destruenten (Rechtecke mit abgerundeten Ecken).

Der Weg der Energie im biotischen Energiefluss kann über die fett umrandeten Pfeile und Symbole von der Lichtenergie über die C_n -Körper, das ATP, die Lebensvorgänge und Wärmeabgabe der Produzenten sowie über die Weitergabe der Energie über Konsumenten und Destruenten bis hin zur vollständigen Wandlung der ursprünglich mit der Lichtenergie aufgenommenen Energiemenge zu thermischer Energie (Wärme) verfolgt werden. Die Pfeilstärken sind aus graphischen Gründen nicht proportional zur Energiemenge. Die biochemischen Abläufe sind stark vereinfacht. So ist z.B. der im Vergleich zur Gesamtausbeute der Zellatmung geringe ATP-Gewinn außerhalb der Mitochondrien nicht dargestellt.

Die die Organismen durchströmende Energie wird für Lebensvorgänge genutzt, die hauptsächlich den drei folgenden Abläufen zugeordnet werden können:

1. Synthese von Makromolekülen aus einfachen Vorstufen;
2. Aktiver Transport von Molekülen und Ionen;
3. Ausführung mechanischer Arbeit bei zellulären Bewegungen und Muskelkontraktion (vgl. z.B. STRYER 1987).

Trifft die elektromagnetische Strahlung jedoch zunächst auf grüne Pflanzenteile, so wird diese zum Aufbau energiereicher Molekülstrukturen verwendet. Die auf diese Weise in den biotischen Energiefluss eingespeiste Energie wird anschließend an verschiedenen Orten und über Zeitintervalle hinweg in den verschiedenen Trophieebenen letztendlich zu Wärme überführt. Die Energie wird auf ihrem Weg zur Wärme über Lebensvorgänge und verschiedene Speicherstoffe und Speicherorte umgeleitet (vgl. Leitlinie 4, S. 237 und Abb. 5-8, S. 247).

Herausgestellt werden sollte, dass der Zweck des Energiestroms durch die Lebewesen der Schaffung bzw. der Aufrechterhaltung der zum Leben notwendigen Ordnung dient. Ohne diesen Energiestrom würde die komplexe Ordnung der Moleküle (und Strukturen) der Lebewesen wie die der Umgebung dem stabilsten und energieärmsten Zustand entgegenstreben und in einfache Bestandteile zerfallen. Diese Zusammenhänge gelten bis zur letzten Trophieebene, der Ebene der Destruenten. Durch den Abbau der Ordnung, durch den Zerfall der Strukturen beim Vorgang der Verwesung, wird es den Destruenten möglich, einen Energiestrom durch ihren eigenen Körper aufrecht zu erhalten.

Die Abbildung 5-8 (S. 247) verdeutlicht die geschilderten Sachverhalte. Sie ist aus dem Kapitel 2 bekannt und wurde bereits von mehreren Kollegen bei der Besprechung der Energieflüsse im Lernbereich Stoffwechselphysiologie erfolgreich in der Oberstufe eingesetzt (vgl. auch KÖHLER 1999). Insbesondere die übergreifenden Zusammenhänge zu Energie im Themenbereich Stoffwechselphysiologie konnten den Schülern so erfolgreich vermittelt werden. Zur Reduktion des Stoffumfangs wurden hierzu die Vorgänge in und um Mitochondrien (Zellatmung) und in und um Chloroplasten (Photosynthese) zunächst getrennt erarbeitet.

Bei Schülern der Sekundarstufe I hat es sich für die Erarbeitung der biochemischen Vorgänge von Assimilation und Dissimilation zur Veranschaulichung der aufgezeigten Prinzipien (Assimilation: Zunahme der Ordnung durch Lichtenergie bei gleichzeitiger Wärmeabgabe; Dissimilation: Abnahme der Ordnung durch katabole Stoffwechselfvorgänge bei gleichzeitiger Wärmeabgabe) als sinnvoll erwiesen, in Unterrichtsgesprächen und Materialien stets Angaben über den "Grad der Ordnung" der beteiligten Stoffe (z.B. bei der Atmung wird der komplexe C_6 -Körper zu einfachen C_1 -Körpern abgebaut) sowie Angaben über die Abgabe von Wärme bei diesen Umwandlungsprozessen zu machen (vgl. Abb. 5-8, S. 247). Unter Berücksichtigung der Triebfeder "aller Vorgänge", nämlich dem Streben zur Unordnung (vgl. in Hinblick auf die Aussage "alle Vorgänge" die kritische Diskussion in Leitlinie 4, S. 237f), wird so die Richtung und die Notwendigkeit der Einzelschritte einsichtig. Außerdem konnten durch die Angaben über den "Grad der Ordnung" und die Wärmeproduktion die in Leitlinie 5 (S. 245f) genannten Faustregeln gut eingeübt werden.

Bei Schülern der Sekundarstufe II wurde zusätzlich auf die unterschiedlichen Energieniveaus (Redoxpotentiale) der beteiligten Stoffe hingewiesen. Insbesondere bei den Elektronentransportketten während der Lichtreaktion der Photosynthese konnten so energetische Zusammenhänge verdeutlicht werden (vgl. Vorschläge zur Besprechung der Photosyntheseprozesse unter Beachtung energetischer Aspekte von EISING, HÖLZENBEIN & PREUß 1998; EISING & HÖLZENBEIN 1999 und HESSE 1999).

Durch Anwendung der erläuterten Vorschläge konnte den Schülern vermittelt werden, dass Energie nicht verbraucht wird (und dann verschwunden ist), sondern dass die Energie bei den besprochenen Abläufen in den Reaktionsstoffen und in Form von Wärme vorliegt. Die Wärmeproduktion, die bei der Energieumwandlung von Stoffen mit hoher Ordnung (Glucose) zu Stoffen mit niedriger Ord-

nung (z.B. Kohlenstoffdioxid) auftritt, konnte im Biologieunterricht dabei z.B. durch Temperaturmessungen an der Haut beim Laufen auf der Stelle experimentell gezeigt werden.

Die eingeschränkte Bedeutung der Wärme in Hinblick auf ihre Stellung als Energiequelle für Lebensprozesse kann hierzu allgemein durch das Steckbaustein-Modell (vgl. Leitlinie 4, S. 237f) weiter erläutert werden. Eine Verknüpfung zum Begriff der "Energieentwertung", wie sie in der Sekundarstufe I im Lehrplan für die drei Naturwissenschaften als Lernziel explizit gefordert wird (vgl. Lehrplananalyse, Kap. 2.2.2.1, S. 38), ist möglich. Der alltagssprachliche Energiebegriff bietet hierzu in Hinblick auf die Energieentwertung einen Anknüpfungspunkt: Alltagssprachlich, so SCHLICHTING & BACKHAUS (1980), ist der Energiebegriff mit der wissenschaftlichen Bedeutung der "Freien Energie" (nutzbare Energie, vgl. Kap. 2.1.3.3, S. 24f) belegt, d.h. dem nutzbaren Teil der Energie. Was alltagssprachlich als Energieverbrauch bezeichnet wird, ist fachwissenschaftlich betrachtet mit "Energieentwertung" gleichzusetzen.

In Hinblick auf die Sonne als Energiequelle fast allen oberirdischen Lebens und die ermittelten Vorstellungen GV 65 "Lebewesen (allgemein) nehmen Energie direkt von der Sonne auf." bzw. GV 85 "Tierische Lebewesen bekommen Energie für Lebensvorgänge direkt durch Licht." muss deutlich werden: *Sonnenenergie wird von Lebewesen unterschiedlich genutzt*. Die Sonne liefert *ausschließlich* den autotrophen Pflanzen Energie für Lebensprozesse. Sie können mit Hilfe der Strahlungsenergie Ordnung aufbauen: Aus den einfachen Molekülen Kohlenstoffdioxid und Wasser wird das komplexe Molekül Glucose aufgebaut. Die Strahlungsenergie wird in chemische Bindungsenergie des komplexen Moleküls umgesetzt. Alle anderen Lebewesen erhalten von der Sonne zwar Wärme (wie auch die Pflanzen), aber diese Wärme ist kein "Antrieb" für Lebensvorgänge: Wärme kann nicht genutzt werden, um aus energieärmeren Substanzen energiereichere Substanzen aufzubauen. Wärme dient lediglich in Bezug auf die "Energiequelle für Lebensvorgänge" als *Voraussetzung* in Form von Aktivierungsenergie dafür, dass komplexe energiereiche Moleküle zu einfacheren energieärmeren Molekülen unter Freisetzung nutzbarer Energie und Wärme abgebaut werden können.

Ebenfalls zum Thema Wärme sollte besprochen werden, dass in Lebewesen Wärme nur zu einem unbedeutenden Teil durch Reibung entsteht; der überwiegende Teil der Wärme entsteht durch Reaktionswärme. Viele Schüleräußerungen aus den durchgeführten Befragungen (vgl. Kap. 4) lassen auf folgendes Gedankengebäude schließen: "Wärme entsteht im Körper durch Reibung. Beim Sporttreiben entsteht durch vermehrte und schnellere Bewegung mehr Reibung und damit auch mehr Wärme, mit der Folge, dass der Körper zu schwitzen beginnt." (vgl. GV 55, KSA 5 der Frage A4, Anhang V und VI). Nach wiederholtem Anwenden der Faustregel "Bei Energieumwandlungen/bei Stoffwechselprozessen in Lebewesen wird ein Teil der Ausgangsenergie in Form von Wärme abgegeben." (Leitlinie 5, S. 245f) trat die beschriebene Fehlvorstellung in Unterrichtsgesprächen nicht mehr auf.

(7) Nicht den Begriff "Verbrennen" im Zusammenhang mit katabolen Stoffwechselprozessen und den Begriff "Nährstoffe" im Zusammenhang mit Photosynthese verwenden.

Die Verwendung bestimmter Begriffe im Biologieunterricht kann zu einem unbeabsichtigten Missverständnis führen. Die diesbezüglich besondere Rolle der Begriffe "Verbrennen" und "Nährstoffe" ist in der Fachdidaktik breit diskutiert (z.B. ZÖLLER 1971; ESCHENHAGEN, KATTMANN & RODI 1995; BERGERHOFF 1996; Zusammenfassungen in BERCK 1999; ENTRICH & STAECK 1992). Die

Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen die beschriebene Gefahr von Missverständnissen durch unpräzise Wortwahl.

So weisen die Grundvorstellung 6 "Energie wird verbrannt." und Grundvorstellung 8 "Durch Verbrennung von Nahrung/Nahrungsbestandteilen/Mineralstoffen entsteht Energie." darauf hin, dass der im Unterricht oder in Schulbüchern benutzte Vergleich zwischen einem Verbrennungsvorgang und den biochemischen Oxidationsprozessen von Schülern aus fachlicher Sicht falsch übertragen wird (vgl. Schulbuchanalyse in BURGER 1991). Solche und ähnliche Analogien werden von KIRCHER (1989) eher als "Krücke" denn als "Brücke" zum Lernen der Naturwissenschaften bewertet (vgl. auch STORK 1993).

Ebenfalls Missverständnisse bestehen - wie bereits erwähnt - in Bezug auf die Bedeutung der Mineralstoffe und Nährsalze bei der Energieversorgung von Pflanzen und Tieren (vgl. S. 221 und Leitlinie 4, S. 237f).

Die Ergebnisse dieser Arbeit stützen die Aufforderung nach einer präzisen Wortwahl und nach einem Verzicht auf unangemessene Modellvorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht.

5.3 Zusammenfassende Bewertung der Praxiserfahrungen zum methodischen und inhaltlichen Ansatz dieser Arbeit

Die in dieser Arbeit vorgestellten Ansätze zu effizienterer Unterrichtsgestaltung von Biologieunterricht konnten - wie bereits mehrfach bei der Formulierung der Leitlinien erwähnt - im Unterricht der Sekundarstufen I und II am Gymnasium und an der Gesamtschule erprobt werden. Die dabei gewonnenen Erfahrungen sind in die Formulierung der obigen Leitlinien eingeflossen (Eine Zusammenstellung dieser Leitlinien findet sich in der Zusammenfassung der Arbeit, Kap. 6, S. 258).

Bei der unterrichtlichen Umsetzung sind neben den Erfahrungen, die bereits in den Erläuterungen zu den Leitlinien Erwähnung fanden, folgende grundsätzliche Beobachtungen aufgefallen:

- Die unvorbereitete Reaktion auf Schülervorstellungen während des Unterrichts erforderte ein hohes kreatives Potential vom Lehrer. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen zwar diesbezüglich nicht, *wo* Schüler einer gegebenen Lerngruppe stehen - in Anlehnung an die Frage aus Kapitel 3 "Mein Mentor sagt immer, daß man die Schüler dort abholen soll, wo sie stehen. Aber bisher habe ich keinen kennengelernt, der mir sagen konnte, wo meine Schüler stehen." (MEYER 1993) - wohl aber weiß man nun, *wo sie stehen können!* Diese Tatsache eröffnet den stressfreieren Weg, in Ruhe am Schreibtisch mit Hilfe der Leitlinien und der vorliegenden konkreten Vorstellungsinhalte einen vorstellungsintensivierten und energiebetonten Unterricht zu gestalten.
- Des Weiteren haben die aufgeführten Grundvorstellungen und Vorstellungsgebäude mich als Lehrer sensibler gegenüber den Schüleräußerungen gemacht. Aussagen, die ich früher ohne die Kenntnisse über Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" achtlos übergang, wurden nun vermehrt hinterfragt. Oftmals konnte so aus ungenauen Schülerformulierungen, aus vermeintlich bloßen sprachlichen Ungenauigkeiten, ein Unterrichtsgespräch initiiert werden, das zum einen die aufgedeckte Fehlvorstellung des direkt betroffenen Schülers klärte und zum anderen ein willkommener Anlass war, den Rest der Lerngruppe in eine wiederholende und damit festigende Übungsphase zu führen. Deutlich wurde, dass dem Lehrer das Entwickeln eigener Vorstellungen über die Vorstellungen der Schüler mit einer höheren Wahrscheinlichkeit an Übereinstimmung/Ähnlichkeit gelingt, wenn ihm Elemente von themenspezifischen Vorstellungen bereits bekannt sind.

- Als schwierig stellte sich in den ersten Jahren das Ermitteln von Schülervorstellungen heraus. Das zeitaufwendige Vorgehen stieß bei einigen Schülern auf Unmut, wenn es getrennt vom Unterrichtsablauf vor einer Einheit, z.B. in Form eines Fragebogens, häufiger durchgeführt wurde. In späteren Jahren, nachdem durch die Auswertung der Befragungen dieser Arbeit die gängigen Vorstellungsinhalte bekannt waren, reduzierten sich die schriftlichen Befragungen auf ein für beide Seiten gut erträgliches Minimum.
- Probleme entstanden weiterhin durch das gleichzeitige Unterrichten von Schülern mit individuellen, unterschiedlichen Vorstellungsprofilen. Besonders bei Schülern, die eine Einsicht in einen Zusammenhang früher als andere Mitschüler erlangt hatten, hätte durch noch weiter bindendifferenzierteren Unterricht versucht werden müssen, weiterführende Gedankengänge zu fördern. Ungelöst blieb in manchen Unterrichtsphasen das Problem, dass sich einige Schüler insbesondere bei Unterrichtsgesprächen wegen zu komplizierter Gedankengänge aus dem Gesprächsfluss ausklinkten, andere jedoch weiter gut folgen konnten (vgl. BÖNSCH 1995).
- Viele Unterrichtserfahrungen aus dem verstärkten Einbezug der Vorstellungen der Schüler belegen die Richtig- und Wichtigkeit der in Kapitel 3.2.1 (S. 97f) gezogenen Konsequenzen zur Unterrichtsgestaltung aus den vier Kernaussagen des Konstruktivismus. So konnte durch das stetige Betonen der Tatsache, dass das in Schulbüchern vermittelte Wissen einerseits z.T. fehlerbehaftet und andererseits mit Blick auf die Entwicklung der Naturwissenschaften grundsätzlich als "vorläufige menschliche Konstruktion" anzusehen ist, ein kritischer und reflektiver Umgang mit Informationen vermittelt werden. Das Suchen nach Fehlern in Lehrbüchern und der Vergleich zwischen älteren und neueren Schulbüchern in Hinblick auf die "Weiterentwicklung" des Wissens wurde zu einem Hobby der Schüler. Weiterhin wurde besonders beim Gespräch über die Schülervorstellungen deutlich, dass Wissenskonstruktion das Resultat sozialer Interaktionen ist. In vielen Unterrichtsgesprächen zeigte sich, wie wichtig, aber auch wie leicht zu vereiteln bei solchen Kommunikationen die Aufgabe des Lehrers ist, eine stützende Rolle bei der affektiven wie kognitiven Bewältigung widersprüchlicher Realitäten einzunehmen: Wenn Schülermeinung und zu vermittelndes Wissen inhaltlich auseinanderklafften, war es besonders wichtig, das Vertrauen des Lernenden zu stärken und seinen individuellen Lernfortschritt lobend und damit motivierend hervorzuheben. Kontraproduktiv stellten sich in diesen Lernphasen eine deutliche Bewertung der ausgetauschten und bearbeiteten individuellen Vorstellungen heraus. Die Ausdrücke "Richtig" und "Falsch" erschienen nach den gesammelten Erfahrungen hier fehl am Platz. Lernphasen, in denen Vorstellungen ausgetauscht wurden, und Wissenstestphasen, in denen dann das Gelernte beim Wiedergeben und Anwenden zur Notenfindung beurteilt wurde, wurden nach anfänglichen Schwierigkeiten beim Umgang mit Schülervorstellungen deutlicher getrennt. Die Schwierigkeiten bestanden besonders darin, dass Schüler in *allen* Phasen des Unterrichts eine versteckte Beurteilung ihre Äußerungen vermuteten.

Abschließend kann festgehalten werden: Die Berücksichtigung von Schülervorstellungen ist zwar kein Garant für ein verständnisreicheres Lernen; die vorgestellten Ansätze zur Effizienzsteigerung des Biologieunterrichts haben nicht allen unterrichteten Schülern den Weg in die Biologie geebnet.

Dennoch:

Der Rote Faden "Energie" durch die Biologie und Naturwissenschaften wird von der überwiegenden Mehrheit der Schüler gerne aufgenommen, weil er den im Unterricht besprochenen Detailinformationen - insbesondere den molekularen Mechanismen - einen Sinn, eine innere Logik und einen übergeordneten Denkraum gibt. Zusammenhänge zwischen den Teilbereichen der Biologie und den drei Naturwissenschaften allgemein werden den Schülern so verstärkt bewusst und verständlich.

Die besondere Berücksichtigung der in dieser Arbeit zum Themenbereich "Energie im biologischen Kontext" ermittelten Schülervorstellungen hilft bei der Vermittlung derjenigen Inhalte, die zum verständnisfördernden Knüpfen des Roten Fadens "Energie" nötig sind.

Ein persönlicher Ausblick:

In den nächsten Jahren wird in der Olof Palme Gesamtschule Hiddenhausen versucht, die in der vorliegenden Arbeit unterbreiteten Vorschläge für eine Effizienzsteigerung des Biologieunterrichts bzw. des naturwissenschaftlichen Unterrichts allgemein in den schuleigenen Lehrplan der Naturwissenschaften einzuarbeiten. Die wichtige Diskussion, inwieweit die inhaltlichen Vorschläge zum Umgang mit dem Energiebegriff auch in den Fächern Chemie und Physik zu einer Effizienzsteigerung beitragen, soll so intensiviert werden.

Für die Verbreitung der vorgestellten Vorschläge werden z. Zt. abgeschlossene Unterrichtssequenzen entwickelt, die in weiteren Schulen zur Anwendung kommen sollen. Die dann von anderen Kollegen beim unterrichtlichen Einsatz gesammelten Erfahrungen sollen die Basis zu einer schulpraktischen Bewertung der Vorschläge verbreitern.

Vielleicht wird sich so die Erkenntnis dieser Arbeit, dass

*Biologieunterricht effektiver wird,
wenn man ihn
energiebetont und vorstellungsintensiviert
und somit schülernah gestaltet,*

künftig ihren Weg in die Unterrichtsstunden der naturwissenschaftlichen Fächer bahnen.

Grundlagen

Um die beiden Lösungsansätze theoriebasiert erfolgreich umsetzen zu können, wurden die notwendigen fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Grundlagen erarbeitet:

Für den inhaltlichen Ansatz wurden hierzu die Aussagen der Thermodynamischen Hauptsätze zusammengefasst und das naturwissenschaftliche Verständnis zum Energiebegriff durch die Aspekte Mengenartigkeit, Erhaltung, Umwandelbarkeit, Übertragbarkeit und Energieentwertung gekennzeichnet. Bei der Analyse des biotischen Energieflusses auf der Erde wurde die besondere Rolle der elektromagnetischen Strahlungsenergie, der chemischen Bindungsenergie und der Wärmeenergie für die Aufrechterhaltung biologischer Systeme herausgestellt.

Zur Legitimation einer verstärkten Berücksichtigung der Thematik Energie im Biologieunterricht wurden die folgenden vier Argumentationsstränge entwickelt und diskutiert:

1. Der Unterrichtsinhalt "Energie" hat eine Gesellschafts-, Fach- und Schülerrelevanz.
2. Die Relevanz der Energiethematik im Biologieunterricht leitet sich von der Rolle der Energie bei der historischen und zukünftigen Entwicklung des Lebens und der menschlichen Zivilisation ab.
3. Die Bedeutung des interdisziplinären Wissens über Energie steigt in Hinblick auf die ansteigende Menge des allgemein verfügbaren Wissens.
4. Eine vermehrte Berücksichtigung der Energiethematik hat positive Auswirkungen auf die inhaltliche Verknüpfung der naturwissenschaftlichen Fächer Physik, Chemie und Biologie sowie auf die Lernleistung der Schüler in diesen Fächern.

Abschließend wurden für den inhaltlichen Ansatz die aktuellen Richtlinien und Lehrpläne der naturwissenschaftlichen Fächer für die Gesamtschule und das Gymnasium (SI/SII, NRW) dahingehend untersucht, inwieweit die Thematik Energie in den Fächern Biologie, Chemie und Physik bearbeitet werden soll bzw. welche der dort für den Biologieunterricht vorgegebenen Themen eine vermehrte Berücksichtigung der Energiethematik ermöglichen.

Für den methodischen Ansatz wurde die theoretische Basis für die besondere Beachtung der Schülervorstellungen gelegt. Hierzu wurden die Grundideen konstruktivistischer Überlegungen zu vier Kernaussagen zusammengefasst. Die beiden Kernaussagen "Wirklichkeit wird individuell konstruiert." und "Wissen ermöglicht viable Handlungen." weisen dabei auf Ansätze zur effektiveren Unterrichtsgestaltung, die *Vorgänge im Schüler* bei der Wissensaufnahme und -verarbeitung betreffen; die Kernaussagen "Wissen wird in sozialen Kontexten konstruiert." und "Sprache überträgt keine Bedeutung." weisen auf unterrichtliche Gestaltungsmöglichkeiten hin, die *Vorgänge zwischen Schülern und ihren Mitmenschen* sowie zwischen Schülern und ihren Unterrichtsmaterialien betreffen.

Die Rolle des Vorwissens bei der Informationsverarbeitung wurde aus behavioristischer Sicht und aus Sicht der aktuellen Kognitionspsychologie analysiert. Die behavioristischen Erklärungen rücken u.a. die emotionalen Effekte des Lernens in das Bewusstsein des Lehrenden und verdeutlichen den Unterschied zwischen bloßem Auswendiglernen, welches dem konditionierten Lernen ähnlich ist, und zwischen verstehendem Lernen, das im naturwissenschaftlichen Unterricht angestrebt wird. Welchen Einfluss vorunterrichtliche Schülervorstellungen auf das Lernen aus kognitionspsychologischer Sicht haben können, wurde unter der Annahme analysiert, dass Wissen netzwerkartig in Form kognitiver Schemata im Gedächtnis repräsentiert ist. Für die Unterrichtsgestaltung wurde deutlich, dass Vorwissen die Richtung und Intensität der Aufmerksamkeit und damit die Sinnes-

wahrnehmung beeinflusst, dass Vorwissen den Sinneswahrnehmungen Bedeutung verleiht, dass Vorwissen trotz widersprüchlicher Sinneswahrnehmungen bestehen bleiben kann, dass Vorwissen die Problemlösestrategien der Schüler beeinflusst und dass Vorwissen nicht davor schützt, dass die Schüler sich neues Wissen aneignen, das ihrem bereits bestehenden Vorwissen widerspricht.

Die erarbeiteten Grundlagen zum methodischen Ansatz wurden in Hinblick auf das übergeordnete Ziel dieser Arbeit zu folgender Auffassung von Schülervorwissen zusammengefasst: Schülervorwissen ist zwar individuell aber nicht beliebig. Aufgrund ähnlicher Sozialisationsbedingungen und ähnlicher Erfahrungen mit dem eigenen Körper beinhaltet das individuelle Schülervorwissen zum einen im Vergleich zum Vorwissen anderer Schüler inhaltlich ähnliche und zum anderen für verschiedene Schüler ähnlich relevante Wissensinhalte: Das netzwerkartig repräsentierte Wissen von Schülern enthält wiederkehrende Wissensbausteine.

Untersuchung

In der Literatur liegen nur sehr lückenhaft Angaben über die Schülervorstellungen deutschsprachiger Schüler zu "Energie im biologischen Kontext" vor. Deshalb wurden im Rahmen dieser Arbeit zunächst die themenrelevanten Vorstellungen ermittelt und in Hinblick auf die schulpraxisnahe Umsetzung der beiden Ansätze analysiert. Zwei übergreifende Ziele wurden formuliert:

1. Ermittlung der Schülervorstellungen zum Themenbereich "Energie im biologischen Kontext", um sowohl Art und Inhalt der Vorstellungen (Qualitativer Aspekt) als auch die Auftrittshäufigkeit und Kontextflexibilität (Quantitativer Aspekt) zu dokumentieren. Unter dem Aspekt "Kontextflexibilität" wurde dabei untersucht, wie verbreitet ein Vorstellungsinhalt in den Schülerantworten aus verschiedenen Sachbereichen ist.
2. Analyse des Einflusses der Faktoren Jahrgangstufe, Geschlecht, naturwissenschaftliches Interesse, Quantität des naturwissenschaftlichen Unterrichts sowie Wohn-/Lernumgebung auf Inhalt, Auftrittshäufigkeit und Kontextflexibilität der Schülervorstellungen. Diese Analyse ist für die Einschätzung der schulpraktischen Bedeutung der ermittelten Schülervorstellungen von Bedeutung. Bei nachgewiesenem Einfluss eines Faktors oder mehrerer Faktoren müssten die Vorschläge zur effektiveren Gestaltung des Biologieunterrichts für die sich dann abzeichnenden Schülerpopulationen jeweils unterschiedlich formuliert werden.

Zur Umsetzung dieser beiden Untersuchungsziele musste die Vergleichbarkeit der zu ermittelnden Schüleräußerungen gewährleistet sein. Deshalb sollten den Schülern aller Jahrgangstufen und Schulformen in den Untersuchungen zu ihren Vorstellungsinhalten die gleichen Aufgaben gestellt werden. Hierzu mussten zunächst in einer Voruntersuchung Themenfelder (d.h. weiter gefasste Sachgebiete) innerhalb des Themenbereichs "Energie im biologischen Kontext" gefunden werden, die allen Probanden gleichermaßen geläufig sind. Diese Themenfelder konnten anhand schriftlicher Assoziationstests mit über 2100 Schülern ermittelt werden. Für diese Assoziationstests wurde folgende Ausgangshypothese aufgestellt: Vorstellungen sind gedankliche Verknüpfungen zwischen bekannten Begriffen, das bedeutet, ermittelte Assoziationen zum Begriff "Energie" führen zur Erhebung von gedanklich mit diesem Begriff verknüpften Wissensbereichen.

Die meisten der ermittelten Assoziationen aus dem biologischen Bereich gehörten den Themenfeldern "Mensch (Tätigkeiten, Körperteile)" und "Natur (abiotische Faktoren und Organismen)" an. Zur Ermittlung der konkreten Schülervorstellungen wurden den Probanden in der Hauptuntersuchung dann aus diesen Themenfeldern in Fragebögen Aufgaben gestellt, in denen sie zumeist Alltagsphänomene möglichst wissenschaftlich korrekt erklären sollten. Um ein möglichst abgesichertes Bild über die Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" zu erlangen, wurden die Fragebögen so gestaltet, dass es jeweils mehrere inhaltlich und z.T. methodisch unterschiedli-

che Anlässe zum Anwenden von Vorstellungen gab. Durch die Befragung von insgesamt 784 Schülern sollten die qualitativen und quantitativen Untersuchungsziele erreicht werden.

Die Befragung wurde 1996 mit Schülern der Jahrgangstufen 5, 8, 10, 11 und 12 von 6 Gymnasien und einer Gesamtschule aus städtischen und ländlichen Regionen Nordrhein-Westfalens durchgeführt.

Zur qualitativen Absicherung der erhobenen Vorstellungen fand 1997 zum einen eine Interviewstudie statt. In ihr wurden 20 Schüler der Sekundarstufen I und II einer Gesamtschule im wesentlichen zu den Aufgaben der Fragebögen der Hauptuntersuchung interviewt. Zum anderen wurden zwischen 1991 und 1999 in der von Frau Prof. Dr. Gerhardt geleiteten Arbeitsgruppe "Schülervorstellungen im Biologieunterricht" (Biologie & Didaktik der Biologie, Fakultät für Biologie der Universität Bielefeld) speziell zur Thematik "Energie im biologischen Kontext" neun eigenständige Begleitstudien von Examenskandidaten angefertigt. In ihnen wurden zu eingegrenzten Themen des biologischen Energieflusses die entsprechenden Schülervorstellungen untersucht. Diese Begleitstudien nutzten dabei in unterschiedlicher Kombination die Untersuchungsmethoden Assoziationstest, Fragebogen mit freier Antwortmöglichkeit, Multiple-choice-Test, halbstandardisiertes Interview mit Interviewleitfaden und Protokollierung von Unterrichtssequenzen. Je nach Studie wurden zwischen 17 und 593 Schüler zumeist verschiedener Gymnasien und Gesamtschulen im Großraum Bielefeld untersucht.

Die Auswertung der Fragebögen der Hauptuntersuchung erfolgte in mehreren Schritten: Aus den Aussagen aller Probanden wurden zunächst 883 "Kurzfassungen der Schülerantworten" erstellt. Ausgehend von diesen kurzgefassten Schülerantworten wurden dann 91 "Grundvorstellungen" (Wissenseinheiten, die als Grundelement verschiedener Vorstellungen wiederholt auftreten) zur Thematik "Energie im biologischen Kontext" formuliert. Im nächsten Schritt wurden die kurzgefassten Schülerantworten den 91 Grundvorstellungen zugeordnet, um einen Überblick über die von jedem einzelnen Probanden angewandten Vorstellungen zur Thematik zu erhalten. Die absolute Auftrittshäufigkeit von Grundvorstellungen wurde durch das Aussortieren mehrfach angewandter Grundvorstellungen ermittelt. Die Kontextflexibilität konnte durch das Auszählen, wie häufig eine Grundvorstellung in den 20 verschiedenen Aufgaben der Fragebögen angewandt wurde, bestimmt werden. Mit Hilfe einer Kreuzmatrix wurde weiterhin untersucht, welche Grundvorstellungen kombiniert zur Erklärung des jeweiligen Sachverhalts herangezogen wurden. So konnte neben der Auftrittshäufigkeit verschiedener Kombinationen auch untersucht werden, ob Schüler stimmige oder sich widersprechende Grundvorstellungen benutzten. Durch einen Vergleich der einzelnen individuellen Wissensnetze aller befragten Probanden wurden Übereinstimmungen und übergeordnete Zusammenhänge deutlich. Inhaltlich ähnliche bzw. korrespondierende Grundvorstellungen konnten deshalb abschließend zu 17 übergeordneten Vorstellungsgebäuden zusammengefasst werden.

Zentrale Aussagen dieser Vorstellungsgebäude sind:

- Lebewesen nehmen die für ihre Lebensvorgänge nötige Energie mit Wärme auf.
- Sonne spendet Lebewesen Energie in Form von Wärme.
- Bei Energieumwandlung entsteht Wärme.
- Energieumwandlung ist durch Wärme beeinflussbar. Wärme ist die für Lebewesen universelle "Energiewährung". Die Energie für Lebensvorgänge wird direkt mit Wärme aufgenommen. Wärmequelle ist die Sonne.

- Energie ist etwas "Stoffliches". Entweder werden Stoffe, wie z.B. die Nahrungsbestandteile Vitamine, selber als Energie bezeichnet oder aber Energie als "kleine Teilchen" angesehen, die in Stoffen - quasi zusätzlich zu den "eigentlichen" Bestandteilen - enthalten sind. Energie wird z.T. als brennbar gekennzeichnet.
- Energie kann zwischen Lebewesen untereinander sowie zwischen Lebewesen und ihrer Umwelt ausgetauscht werden.
- Energie entsteht in Lebewesen und wird in ihnen verbraucht. Lebewesen nehmen Energie - zumeist für Lebensvorgänge - auf und verbrauchen sie zum Teil oder vollständig. Daher sind Lebewesen stets gezwungen, zum Überleben Energie aufzunehmen.
- Energie ist in Biomasse an bestimmten Orten gespeichert. Energie ist in Organismen depotartig vorhanden, d.h. in bestimmten Zellen oder an bestimmten Orten bzw. in bestimmten Bereichen des Lebewesens. Vor allem diejenigen Teile des Lebewesens enthalten Energie, die sich bewegen oder bewegen lassen.
- Energie kreist - einem Stoff ähnlich - auf der Erde. Energie wird von Lebewesen aufgenommen und bei deren Tod wieder an die Umgebung abgegeben. Diese abgegebene Energie steht dann anderen Lebewesen wieder zur Aufnahme zur Verfügung: Pflanzen nehmen mit ihren Wurzeln Energie aus dem Boden auf, diese wird in Nahrungsketten weitergegeben und gelangt schließlich bei der Verwesung von toten Organismen wieder in den Boden. Energie kann in diesen Kreislauf von der Sonne zugeführt werden: Sowohl Pflanzen als auch Tiere können Energie direkt von der Sonne aufnehmen.

Die Existenz dieser in der Hauptuntersuchung ermittelten Schülervorstellungen wurde mehrfach bestätigt: Sowohl die Auswertung der 20 Interviews als auch die neun Begleitstudien zu dieser Arbeit, die mit methodisch ähnlichen Fragebogen- und Interviewstudien zu eingegrenzten Themenbereichen die Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" ermittelt haben, belegen vollständig die getroffenen Aussagen. Auch ein Vergleich mit ausländischen Studien, die ähnlich wie die Begleitstudien zumeist zu eingegrenzten Themenbereichen (z.B. Photosynthese) die Energievorstellungen analysierten, oder ein Vergleich mit Studien, die die Energievorstellungen in den Fachbereichen Physik oder Chemie untersuchten, stützten jeweils bestimmte Aspekte der 17 in der vorliegenden Untersuchung herausgearbeiteten Vorstellungsgebäude.

Die Analyse der ermittelten Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Jugendliche entwickeln während ihrer Schulzeit verschiedene Vorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext". Mit den von uns angewandten Untersuchungsmethoden wurde ein breit gefächertes, aber dennoch überschaubares Spektrum an Vorstellungsinhalten zu "Energie im biologischen Kontext" erhoben.
- Die Auftrittshäufigkeit der unterschiedlichen Vorstellungen zu dieser Thematik wird durch die von uns untersuchten Faktoren nur wenig beeinflusst. Das durch die 17 Vorstellungsgebäude gekennzeichnete Wissensnetz zu "Energie im biologischen Kontext" scheint bei allen Schülern der Sekundarstufen I und II weit verbreitet zu sein.
- Eine Entwicklung der themenrelevanten Vorstellungen während der Schulzeit findet in geringem Maße statt. Ein Einfluss des Schulunterrichts ist dabei kaum nachzuweisen. Ein Mehr an naturwissenschaftlichem Unterricht führt nur eingeschränkt zu einem fachlich richtigeren Wissen.

- Die verschiedenen Vorstellungsinhalte werden individuell unterschiedlich, aber von fast allen Schülern immer widerspruchsfrei und schlüssig kombiniert, bestimmte Kombinationen von Vorstellungen kehren als Vorstellungsgebäude immer wieder.

Die Tatsache, dass die Vorstellungsinhalte zu "Energie im biologischen Kontext" bei Schülern *wiederholt und ähnlich kombiniert* auftreten, ist *die* entscheidende Voraussetzung für die Formulierung der folgenden Leitlinien.

Konsequenzen und Praxiserfahrungen

Auf der Grundlage der in der Literatur diskutierten Methoden zum unterrichtlichen Umgang mit Schülervorstellungen wurden unter Berücksichtigung der konkret ermittelten Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" vier Strategien zur Unterrichtsplanung auf der Basis von Schülervorstellungen entwickelt:

1. Strategie: Fachlich richtige Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" im Unterricht aktiv zum Anknüpfen von neuen Wissensinhalten nutzen.
(Effektiveres Lernen durch Verankern von neuem Wissen in fachlich richtigem und damit kontextflexiblem Vorwissen)
2. Strategie: Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" durch im Unterricht initiierte kognitive Konflikte thematisieren.
(Effektiveres Lernen durch Hervorheben und Bewerten von Vorstellungen durch aktives Handeln)
3. Strategie: Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" ohne im Unterricht initiierte kognitive Konflikte thematisieren.
(Effektiveres Lernen durch Ausschließen bzw. Bestätigen von Vorstellungen im Unterrichtsgespräch durch logisches Schlussfolgern ohne aktives Handeln)
4. Strategie: Fehlvorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" im Unterricht absichtlich nicht thematisieren.
(Effektiveres Lernen durch geplantes Umgehen von Fehlvorstellungen)

Die erste Strategie wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter untersucht, da den fachlich richtigen Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" nur eine untergeordnete Rolle bei der Minimierung der angesprochenen Lernschwierigkeiten beigemessen wurde. Die zweite Strategie erwies sich im praktischen Schuleinsatz in vielen Fällen als ungeeignet, da zu vielen Fehlvorstellungen der Schüler keine geeigneten Experimente gefunden werden konnten, die bei den Schülern den beabsichtigten kognitiven Konflikt initiierten. Erfolgreich konnten die Strategien 3 und 4 angewandt werden.

Aufgrund der beim Anwenden der Strategien gesammelten Schulerfahrung und aufgrund der ermittelten Schülervorstellungen wurden zur unterrichtlichen Umsetzung des inhaltlichen und methodischen Ansatzes dieser Arbeit sieben Leitlinien formuliert:

1. Vor themenrelevanten Unterrichtseinheiten wichtige naturwissenschaftliche Konzepte zum Energiebegriff wiederholen.
2. In Hinblick auf den Energiebegriff zur differenzierten (mündlichen) Zweisprachigkeit (alltags-sprachlicher und wissenschaftssprachlicher Energiebegriff) erziehen. In Lehrtexten nur in gekennzeichneten Ausnahmefällen unpräzise alltagssprachliche Ausdrucksweisen ("Herstellen und Verbrauchen von Energie") zulassen.
3. Themenbereich Energie in der Biologie erst ab Jahrgangsstufe 8 einführen.

4. Den Energiebegriff in der Biologie im Zusammenhang mit dem "Ordnungsgrad der Teilchen" unter Zuhilfenahme eines Steckbaustein-Modells einführen.
5. Die beiden Aussagen
"Bei Energieumwandlungen/bei Stoffwechselprozessen in Lebewesen wird ein Teil der Ausgangsenergie in Form von Wärme abgegeben." und
"Triebfeder kataboler Vorgänge ist das Streben zu niedrigerem Ordnungsgrad der Teilchen (Entropie)."
als Heuristiken zu "Energie im biologischen Kontext" vermitteln.
6. Leben als Umleitung und Einbahnstraße der elektromagnetischen Strahlungsenergie hin zur Wärme beschreiben.
Die Abwärme chemischer Reaktionen als Verlust bei Lebensvorgängen und Wärme als Voraussetzung für Lebensvorgänge (Aktivierungsenergie) herausstellen. Reibung als untergeordnete Ursache bei der Wärmeproduktion von Lebewesen charakterisieren.
7. Nicht den Begriff "Verbrennen" im Zusammenhang mit katabolen Stoffwechselprozessen und den Begriff "Nährstoffe" im Zusammenhang mit Photosynthese verwenden.

Die Einführung der naturwissenschaftlichen Bedeutung des Wortes "Energie" und der unterrichtliche Umgang mit dem Energiebegriff muss in einer Schule zumindest in Absprache zwischen den naturwissenschaftlichen Fächern geschehen. Insbesondere bei der Einführung des naturwissenschaftlichen Energiebegriffs sind dabei Zeitpunkt und zu vermittelnde Inhalte so abzustimmen, dass die Schüler nicht in den Fächern Biologie, Chemie und Physik jeweils eine andere Bedeutung des Energiebegriffs erlernen.

Zur inhaltlichen und methodischen Koordination dieser Absprachen müssen die Richtlinien und Lehrpläne einen stärkeren Beitrag als bisher leisten.

In den letzten acht Jahren konnten eigene Praxiserfahrungen mit einem Biologieunterricht gesammelt werden, in dem die inhaltliche und methodische Planung und Durchführung in vielen Phasen konkret an den ermittelten Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" ausgerichtet waren. Hierbei zeigte sich: Der Rote Faden "Energie" durch die Biologie wird von Schülern ange-regt aufgegriffen, weil er den im Unterricht besprochenen Detailinformationen - insbesondere den molekularen Mechanismen - einen Sinn, eine innere Logik und einen übergeordneten Denkra-hmen gibt: Zusammenhänge zwischen den Teilbereichen der Biologie und zwischen den drei Naturwis-senschaften allgemein werden den Schülern so verstärkt bewusst und verständlich.

7 Literaturverzeichnis

- ABIMBOLA, I.O. (1988): The Problem of Terminology in the Study of Students' Conceptions in Science. *Science Education* **72** (2), S. 175 - 184.
- AHLHEIM, K.-H. (1983): *Wie funktioniert das? Die Energie. Erzeugung, Nutzung, Versorgung.* Bibliographisches Institut. Meyers Lexikonverlag, Mannheim.
- ALLHOFF, D.-W. & ALLHOFF, W. (1993): *Rhetorik und Kommunikation.* Regensburg.
- ANDERSON, C.W.; SHELDON, T.H. & DUBAY, J. (1990): The effects of instruction on college non-majors' conceptions of respiration and photosynthesis. *Journal of Research in Science Teaching* **27** (8), S. 761 - 776.
- ANDERSON, C.W.; SHELDON, T.H. & DUBAY, J. (1990b): Power cell: Teacher's Guide to Respiration. Occ. Paper No.113. Michigan State University. East Lansing. Institut for Research on Teaching.
- ANDERSON, C.W. & SMITH, E.L. (1987): Teaching science. In: RICHARDSON-KOEHLER, V. (Hrsg.): *The educator's handbook: A research perspective.* Logman, New York, S. 84 - 111.
- ANDERSON, J. R. (1996): *Kognitive Psychologie: Eine Einführung.* Spektrum, Heidelberg.
- APPLETON, K. (1997): Analysis and description of students' learning during science classes using a constructivist-based model. *Journal of Research in Science Teaching* **34** (15), S. 303 - 318.
- ARNOLD, G. (2000): Neues Lernen? Didaktische und methodische Überlegungen. *Praxis der Naturwissenschaften-Biologie* **49** (1), S. 4 - 9.
- ARNOLD, R. (1996): Die Emergenz der Kognition. *Didaktisches Design* **1**, S. 130 - 146.
- ARNOLD, R. & KEMPKES, H.-G. (1998): Praktisches des Konstruktivismus. *Hessische Blätter für Volksbildung* **48** (3), S. 259 - 274.
- ARZI, H. J. (1988): On energy in chocolate and yogurt, or: on the applicability of school science concepts to real life. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association. New Orleans.
- ASCHOFF, J.; GÜNTHER, B. & KRAMER, K. (1971): *Physiologie des Menschen. Bd. 2. Energiehaushalt und Temperaturregulation.* Urban & Schwarzenberg, München, Berlin, Wien.
- ATKINS, P.W. (1987): *Physikalische Chemie.* VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim.
- ATTESLANDER, P. (2000): *Methoden der empirischen Sozialforschung.* de Gruyter, Berlin.
- AUFSCHNAITER, S. v. (1998): Konstruktivistische Perspektiven zum Physikunterricht. *Zeitschrift für Pädagogik* **44** (7-8), S. 52 - 57.
- AUFSCHNAITER, S. v.; FISCHER, H. & SCHWESES, H. (1992): Kinder konstruieren Welten. Perspektiven einer konstruktivistischen Physikdidaktik. In: SCHMIDT, S. J. (Hrsg.): *Kognition und Gesellschaft. Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus.* Suhrkamp, Frankfurt a.M..
- AUFSCHNAITER, S. & WELZEL, M. (1997): Wissensvermittlung durch Wissensentwicklung. Das Bremer Komplexitätsmodell zur qualitativen Beschreibung von Bedeutungsentwicklung und Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* **2** (3), S. 43 - 58.
- AUFSCHNAITER, S. & WELZEL, M. (1999): Schülervorstellungen und Lernen. In: DUIT, R. & MAYER, J. (Hrsg.): *Studien zur naturwissenschaftlichen Lern- und Interessensforschung.* IPN 165. S. 29 - 43.
- AUSUBEL, D. P. (1986): *Educational Psychology - A Cognitive View.* New York.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D. & HELEN HANESIAN (1980): *Psychologie des Unterrichts. Bd. 1.* Beltz, Weinheim, Basel.

- BAALMANN, W.; FRERICHS, V. & KATTMANN, U. (1999): Warum die Gorillas schwarz wurden - Didaktische Rekonstruktion in den Bereichen Genetik und Evolution. In: GÜNTHER-ARNDT, H. (Hrsg.): Fachdidaktik als Zentrum professioneller Lehrerbildung. Oldenburger Vordrucke 387, S. 35 - 49.
- BANDURA, A. (1969): Principles of behavior modification. Holt; Rinehart & Winston, New York.
- BANDURA, A. (1977): Sozial-kognitive Lerntheorie. Klett-Cotta, Stuttgart.
- BANET, E. & NÚÑEZ, F. (1997): Teaching and learning about human nutrition: a constructivist approach. International Journal of Science Education **19** (10), S. 1169 - 1194.
- BANNWARTH, H.; KREMER, B.P. & MASSING, D. (1996): Stoffe und Stoffwechsel: Grundlagen - Abläufe - Experimente. Quelle & Meyer, Wiesbaden.
- BARAK, J.; GORODETSKY, M. & CHIPMAN, D. (1995): Effect of qualitative thermodynamic approach to teaching energy on system oriented understanding of biology. In: FINLEY, F.; ALLCHIN, D.; RHEES, D. & FIFIELD, S.: Proceedings. Third international history, philosophy and scienceteaching conference. Minneapolis: University of Minnesota, S. 87 - 96.
- BARAK, J.; GORODETSKY, M. & CHIPMAN, D. (1997): Understanding of energy in biology and vitalistic conceptions. International Journal of Science Education **19** (1), S. 21 - 30.
- BARAK, J. & GORODETSKY, M. (1999): As "process" as it can get: Students' understanding of biological processes. International Journal of Science Education **21** (12), S. 1281 - 1292.
- BARRAS, R. (1984): Some misconceptions and misunderstandings perpetuated by teachers and textbooks of biology. Journal of Biological Education **18**, S. 201 - 206.
- BASTIAN, J. (Hrsg.) (1987): Vor der Klasse stehen, Lehrerautorität und Schülerbeteiligung. Bergmann & Helbig, Hamburg.
- BAUMERT, J.; GRUEHN, S.; KÖLLER, O. & SCHNABEL, K. (1996): Bildungsverläufe und psychosoziale Entwicklung im Jugendalter (BIJU). Bericht aus dem Max-Planck-Institut für Bildungsforschung. Berlin.
- BAUMERT, J.; LEHMANN, R.; et al. (1997): Third International Mathematics and Science Study (TIMSS). Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Leske und Budrich, Opladen.
- BAY, F.; SCHNEIDER, H. & STRECKER, H. (1993): Natura. Biologie für Gymnasien. Bd. 2. Lehrerband, Teil A. Klett, Stuttgart, Düsseldorf, Berlin, Leipzig.
- BECK, E. (1995): Eigenständig lernende Schülerinnen und Schüler. In: BECK, E., et al. (Hrsg.): Eigenständig lernen. Kollegium - Schriften der Pädagogischen Hochschule St. Gallen. UVK, Fachverlag für Wissenschaften und Studium, St. Gallen, S. 15 - 58.
- BECK, K. (1987): Die empirischen Grundlagen der Unterrichtsforschung. Hogrefe, Göttingen.
- BEGON, M.E.; HARPER, J. L. & TOWNSEND, C. R. (1998): Lehrbuch Ökologie. Spektrum, Heidelberg.
- BEHLER, G. (1997): Manuskript zur Rede der Ministerin für Schule und Weiterbildung des Landes NRW auf der Fachtagung "Evaluation in der Schulpraxis" am 18. Sep. 1997 im Landesinstitut für Schule und Weiterbildung zum Thema "Evaluation und Schulentwicklung in Nordrhein-Westfalen"
- BERCK, K.-H. (1996): Biologieunterricht – exemplarisch für das Exemplarische. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften **2** (3), S. 17 - 24.
- BERCK, K.-H. (1997): Lebenswirklichkeit und Biologieunterricht. In: BAYRHUBER, H., et al. (Hrsg.): Biologieunterricht und Lebenswirklichkeit. IPN. Kiel, S. 55 - 70.
- BERCK, K.-H. (1999): Biologiedidaktik: Grundlagen und Methoden. Quelle & Meyer, Wiebelsheim.

- BERGAU, M.; LINHART, D.; MÜLLER, H.; SAUTER, G. & ZINK, W. (1998): Sonne - Energie - Umwelt. Klett, Stuttgart.
- BERGER, P.L. & LUCKMANN, T. (1969): Die gesellschaftliche Konstruktion der Wirklichkeit. Eine Theorie der Wissenssoziologie. Fischer Taschenbuch, Frankfurt a.M..
- BERGER, P.L. & LUCKMANN, T. (1997): Die gesellschaftliche Konstruktion der Wirklichkeit. Eine Theorie der Wissenssoziologie. Fischer Taschenbuch, Frankfurt a.M..
- BERGERHOFF, F. (1996): Erneut: Schülervorstellungen zur Verbrennung im Chemieunterricht. *Mathematisch-Naturwissenschaftlicher-Unterricht* **49** (1), S. 33 - 36.
- BERGMANN, L. & SCHÄFER, C. (1987): Lehrbuch der Experimentalphysik. Bd. 3: Optik. de Gruyter, Berlin.
- BERGMANN, L. & SCHÄFER, C. (1998): Lehrbuch der Experimentalphysik. Bd. 1: Mechanik, Relativität, Wärme. de Gruyter, Berlin.
- BERKS, R. & KREMPER, B.P. (1979): Das Thema Photosynthese im Oberstufenkurs Biologie. *Unterricht Biologie* **35** (1), S. 46 - 56.
- BERTELSMANN UNIVERSAL LEXIKON (2000): Bd. 4. Gütersloh.
- BETHGE, T. (1988): Aspekte des Schülervorverständnisses zu grundlegenden Begriffen der Atomphysik - Eine empirische Untersuchung in der Sekundarstufe II. Bremen, Universität Bremen.
- BEZZI, A. (1996): Use of Repertory Grids in Facilitating Knowledge Construction and Reconstruction in Geology. *Journal of Research in Science Teaching* **33** (2), S. 179 - 204.
- BICKEL, H., et al. (1998): *Natura. Biologie für Gymnasien*. Bd. 3. Klett, Stuttgart, Düsseldorf, Leipzig.
- BICKEL-SANDKÖTTER, S. & BICKEL, H. (1999): Bioenergetik. *Unterricht Biologie* **23** (249), S. 4 - 13.
- BILLICH, V. (1977): Konkretisierung des Energiebegriffs im Biologieunterricht durch Unterrichtseinheiten in der Sekundarstufe I. In: WENK, K. & TROMMER, G. (Hrsg.): *Naturerscheinung Energie*. Westermann, Braunschweig, S. 170 - 186.
- BIRBAUMER, N. & SCHMIDT, R., F. (1991): *Biologische Psychologie*. Springer, Berlin.
- BISHOP, B.; ROTH, K. & ANDERSON, C. (1986): *Respiration and Photosynthesis: A Teaching Module*. Occ. Paper No. 90. Michigan State University. East Lansing. Institute for Research on Teaching.
- BLANKERTZ, H. (1973): *Theorien und Modelle der Didaktik*. Juventa, München.
- BÖHM, W. & SIMONIS, M. (1982): *Weltproblem Energie*. Teil 1. Staatliches Institut für Lehrerfort- und weiterbildung. Speyer.
- BÖHME, D. (1981): Die Verwissenschaftlichung der Erfahrung - wissenschaftsdidaktische Konsequenzen. In: DUIT, R. & PFUNDT, W. (Hrsg.): *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Aulis, Köln.
- BÖHME, G. (1979): Die Verwissenschaftlichung der Erfahrung - wissenschaftsdidaktische Konsequenzen. In: BÖHME, G. & ENGELHARDT, M. v. (Hrsg.): *Entfremdete Wissenschaft*. Suhrkamp, Frankfurt a.M., S. 114 - 136.
- BOJUNGA, W. (1985): Ein besonderer Aspekt des biologischen Energieflusses. *Praxis der Naturwissenschaften-Biologie* **34** (1), S. 20 - 21.
- BOJUNGA, W. (1985b): Energiefluß in Ökosystemen. *Praxis der Naturwissenschaften-Biologie* **34** (6), S. 16 - 31.

- BLOOM, J. W. (1992): Contextual flexibility: learning and change from cognitive, sociocultural, and physical context perspectives. In: HILLS, S. (Hrsg.): The history and philosophy of science in Science Education. Proceedings of the international conference on the history and philosophy of science and science teaching. Bd. I. Kingston, The Faculty of Education, Queens University, S. 115 - 125.
- BOLZ, N. (Hrsg.) (1996): Ruinen des Denkens, Denken in Ruinen. Suhrkamp, Frankfurt a.M..
- BÖNSCH, M. (1995): Differenzierung in Schule und Unterricht. Zeitschrift für Pädagogik **41** (6), S. 5 - 9.
- BOO, H. (1998): Students' understanding of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. Journal of Research in Science Teaching **35** (5), S. 569 - 581.
- BOOK, A. & DRIVER, R. (1984): Aspects of secondary students' understanding of energy: summary report. Children's Learning in Science Project. Center for Studies in Science and Mathematics Education. The University of Leeds.
- BORTZ J. & DÖRING, N. (1995): Forschungsmethoden und Evaluation. Springer, Berlin.
- BOYES, E. (1990): Pupil's ideas concerning energy sources. International Journal of Science Education **12** (5), S. 513 - 529.
- BRANSFORD, J.D.; FRANKS, J.J.; VYE, N.J. & SHERWOOD, R.D. (1989): New approaches to instruction: Because wisdom can't be told. In: VOSNIADOU, S. & ORTONY, A. (Hrsg.): Similarity and analogical reasoning. Cambridge. S. 470 - 497.
- BREDENKAMP, J. (1998): Lernen, Erinnern, Vergessen. C.H. Beck'sche Buchdruckerei, Nördlingen.
- BREDENKAMP, J. & ERDFELDER, E. (1996): Methoden der Gedächtnispsychologie. In: ALBERT, D. & STAPF, K.-H. (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C: Theorie und Forschung. Serie II: Kognition. Bd. 4: Gedächtnis. Hogrefe, Göttingen, S. 1 - 83.
- BRESCH, C. (1988): Was ist Evolution? In: BÖHME, W.: Evolution und Gottesglaube. Göttingen.
- BREZMANN, S. (1992): "Stoff- und Energiewechsel pflanzlicher Zellen" - Festigen und Anwenden im Unterricht. Biologie in der Schule **41** (13), S. 10 - 19.
- BREZMANN, S. (1992b): Von Beobachtungen an Pflanzen zu dem Begriff "Stoff- und Energiewechsel". Der Mathematisch-Naturwissenschaftliche Unterricht **45** (4), S. 234 - 240.
- BRIEST, C. (1999): Ermittlung von Schülervorstellungen und Ausarbeitung von Unterrichtsbau-steinen zum Thema "Stoffwechsel des Menschen". Schriftliche Hausarbeit, vorgelegt im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt für die Sekundarstufen II und I im Fach Biologie. unveröffentlicht. Bielefeld.
- BRILLING, O. (1999): Hand-Wörterbuch Umweltbildung. Schneider, Hohengehren.
- BRINKMAN, F. G. (1997): "Die Bedeutung von vorunterrichtlich geprägten Vorstellungen für das Verständnis von Biologie". In: BAYRHUBER, H. et al. (Hrsg.): Biologie und Lebenswirklichkeit. 10. Internationale Fachtagung der Sektion Fachdidaktik im VDBiol vom 18. bis 22. 9. 1995 in Weilburg. IPN. Kiel, S. 71-78.
- BRINKMAN, F.G.; SCHERMER, A.; ACHTERSTRAAT, H. & SLUIJS, J.V.D. (1994): Learning and teaching biology. The development of student's conceptions about matter und energy in ecological cycles in lower secondary education. In: BRINKMAN, F.G.; SCHEE, J.A.V.D. & PARREREN, M.C.V.: Curriculum research: Different disciplines and common goals. Institut voor Didactiek en Onderwijspraktijk Vrije Universiteit. Amsterdam. S. 89 - 101.
- BROHMER, P. (1984): Fauna von Deutschland. Quelle und Meyer, Heidelberg.
- BROOKS, J.G. & BROOKS, M.,G. (1993): In Search of Understanding: The Case for Constructivist Classrooms. Alexandria. VA: Association for the Supervision and Curriculum Development.

- BROWN, D.E. (1995): Theorie in pieces? The nature of students' conceptions and current issues in science education. Paper presented at the 1995 Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), April 22 - 25. San Francisco, California.
- BROWN, D.E. & CLEMENT, J. (1989): Overcoming misconceptions via analogical reasoning: Abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science* **18**, S. 237 - 261.
- BROWN, D.E.; COLLINS, A. & DUGUID, P. (1989): Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher* **18**, S. 32 - 42.
- BRÜGELMANN, H. (1999): Was leisten unsere Schulen? Zur Qualität und Evaluation von Unterricht. Seelze-Velbert.
- BUCK, P. (1978): "Sollen wir 'Energie' auf der Sekundarstufe I wirklich als Erhaltungsgröße einführen?". *physica didactica* **5**, S. 199 - 218.
- BUCK, P. (1980): Die Bedeutung der Invarianz, des Metamorphose- und des Formalisierungsschemas bei der Entwicklung der Energiebegriffe, und inwiefern solche Betrachtungen fachdidaktisch relevant sind. *physica didactica* **7**, S. 85 - 108.
- BUCK, P. (1984): Kontextanalyse des Energiebegriffs. *physica didactica* **11**, S. 175 - 196.
- BUCK, P. (1990): Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftliches Denken. In: WIEBEL, K.H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik/Chemie. Probleme und Perspektiven. Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie in Kassel 1989. Leuchtturm, Alsbach.
- BUDDINGH, J.; GERHARDT, A. & PIEPENBROCK, C. (1992): Lernen, Verstehen, Mißverstehen im Biologieunterricht. In: Entrich, H. & Staeck, L. (Hrsg.): Sprache und Verstehen im Biologieunterricht. Leuchtturm-Verlag, Alsbach, S. 319 - 323.
- BULTEMEIER, S. (1997): Alltagsvorstellungen von Schülern der Sekundarstufe I (Gymnasium) zum Themenbereich 'Stoffwechsel und Energieumsatz des Menschen'. Schriftliche Hausarbeit, vorgelegt im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt für die Sekundarstufe I im Fach Biologie. unveröffentlicht. Bielefeld.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (1992): Agenda 21. Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro. Dokumente. Köllen Druck, Bonn.
- BUND-LÄNDER-KOMMISSION (BLK) (1997): Gutachten zur Vorbereitung des Programms "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts.". Materialien zur Bildungsplanung und Forschungsförderung.
- BURBULES, N. C. & LINN, M. C. (1991): Science education und philosophy of science: congruence or contradiction? *International Journal of Science Education* **13** (3), S. 227 - 241.
- BURGER, J. (1991): Fehlvorstellungen bei Schülern im Bereich der Biologie - untersucht am Beispiel des Energiebegriffs. Schriftliche Hausarbeit, vorgelegt im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt für die Sekundarstufen II und I im Fach Biologie. unveröffentlicht. Bielefeld.
- BURGER, J. (1994): Photosynthese unter besonderer Berücksichtigung energetischer Aspekte - Planung und Durchführung einer Unterrichtsreihe auf der Grundlage der konstruktivistischen Sichtweise des Lernens. Schriftliche Hausarbeit im Rahmen des Studienseminars für das Lehramt für die Sekundarstufe. unveröffentlicht. Detmold.
- BURGER, J. (1997): "Energie im biologischen Kontext - Analyse von Schülervorstellungen". Arbeitsbericht zur Sachbeihilfe Ge 857/11.
- BURGER, J. & GERHARDT, A. (1997): Schülervorstellungen zu energetischen Aspekten der Biologie, Beispiel 'Ernährung und Verdauung'. In: BAYRHUBER, H., et al.: Biologie und Lebenswirklichkeit. IPN. Kiel, S. 384 - 388.
- BUSCHMANN, C. & GRUMBACH, K. (1985): Physiologie der Photosynthese. Springer, Berlin.

- BÜTTNER, D. (1980): Experimentelle Zugänge zum Energiebegriff im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie* **28** (11), S. 382 - 386.
- BÜTTNER, D. & KUNTZSCH, W. (1982): Qualitative und quantitative Experimente zum Energiebegriff im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie* **30** (3), S. 246 - 250.
- CAMPBELL, N.A. (1997): *Biologie*. Spektrum, Heidelberg.
- CHILDREN'S LEARNING IN SCIENCE PROJECT (CLIS) (1987): *Approaches to Teaching Plant Nutrition*. Center for Studies in Science and Mathematics Education. University of Leeds.
- CHINN, C. A. & BREWER, W.F. (1993): The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research* **63**, S. 1 - 49.
- CLARKE, L. (1989): *Der menschliche Körper*. Übersetzung u. Bearbeitung von Würmli, M., Bertelsmann, Gütersloh.
- CLAXTON, G.L. (1986): Book Reviews: The Alternative Conceivers Conceptions. *Studies in Science Education* **13**, S. 123 - 130.
- CORAZZA, V., et al. (1999): *Kursbuch Gesundheit*. Mohndruck, Güterloh.
- CZIHAK, G.; LANGER, H. & ZIEGLER, H. (Hrsg.) (1992): *Biologie*. Springer, Berlin.
- DAHNCHE, H.; DUIT, R. & RHÖNECK, C. v. (1981): Methoden und Zwecke verschiedener Untersuchungen zur Erfassung der Vorstellungen von Schülern - Die Bewegung einer Kugel in gebogenen Bahnen. In: DUIT, R.; JUNG, W. & PFUNDT, H. (Hrsg.): *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Aulis, Köln, S. 241 - 280.
- DÄMMGEN, U. (1977): Energie und die Freiwilligkeit von Vorgängen. In: WENK, K. & TROMMER, G. (Hrsg.): *Naturerscheinung Energie*. Braunschweig.
- DAUMER, K. (1999): Life Sciences und Biologieunterricht. *Der Mathematisch-Naturwissenschaftliche-Unterricht* **52** (5), S. 259.
- DIEKMANN, A. (1995): *Empirische Sozialforschung. Grundlagen, Methoden, Anwendungen*. Rowohlt's Enzyklopädie, Reinbek bei Hamburg.
- DISSA, A. A. (1988): Knowledge in pieces. In: Forman, G. & Pufall, P. (Hrsg.): *Constructivism in the computer age*. NJ. Lawrence Erlbaum, Hillsdale.
- DÖRNER, D. (1985): Verhalten, Denken und Emotionen. In: ECKENSBERGER, L. & LANTERMANN, E. (Hrsg.): *Emotion und Reflexivität*. München, S. 45 - 85.
- DÖRNER, D. (1998): Emotion, kognitive Prozesse und der Gebrauch von Wissen. In: KLIX, F. & SPADA, H. (Hrsg.): *Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C: Theorie und Forschung. Serie II: Kognition. Bd. 6: Wissen*. Hogrefe, Göttingen, S. 301 - 335.
- DORSCH, F. (Hrsg.) (1998): *Psychologisches Wörterbuch*. Hans Huber, Bern, Stuttgart.
- DREYFUSS, A. (1988): The cell concept of 10th graders: curricular expectations and reality. *International Journal of Science Education* **10** (2), S. 221 - 229.
- DRIVER, R. (1983): *The Pupil as Scientist?* London.
- DRIVER, R. (1985): Kognitive Psychologie und begriffliche Rahmen von Schülern in Mechanik. *physica didactica* **12**, S. 17 - 33.
- DRIVER, R. (1989): Changing conceptions. In: ADEY, P. (Hrsg.): *Adolescent development and school science*. The Falmer Press, London, S. 61 - 84.
- DRIVER, R. & ERICKSON, G. (1983): Theories-in-action: Some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education*, **10**. S. 37 - 60.
- DRIVER, R., et al. (1985): *Children's Ideas in Science*. London.

- DUBS, R. (1995): Konstruktivismus: Einige Überlegungen aus der Sicht der Unterrichtsgestaltung. *Zeitschrift für Pädagogik* **41** (6), S. 889 - 903.
- DUFFY, T.M. & JONASSEN, D.H. (1992): Constructivism: New implications for instructional technology. In: DUFFY, T.M. & JONASSEN, D.H. (Hrsg.): *Constructivism and the technology of instruction. A conservation*. Erlbaum, Hillsdale, S. 1 - 16.
- DUIT, R. (1980): Der Energiebegriff im Physikunterricht der Sekundarstufe I. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie* **28** (11) (Themenheft Energie), S. 354 - 358.
- DUIT, R. (1981): Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht. Aulis, Köln.
- DUIT, R. (1981b): Übersicht über einige allgemeine Probleme der Erfassung von Vorstellungen: In: DUIT, R.; JUNG, W. & PFUNDT, H. (Hrsg.): *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Aulis, Köln, S. 182 - 195.
- DUIT, R. (1984): Kraft, Arbeit, Leistung, Energie - Wörter der Alltagssprache und der physikalischen Fachsprache. *physica didactica* **11**, S. 129 - 144.
- DUIT, R. (1986): Der Energiebegriff im Physikunterricht. IPN 100. Kiel.
- DUIT, R. (1986b): Energievorstellungen. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie* **34** (13), S. 105 - 107.
- DUIT, R. (1986c): Vorstellung und Physiklernen. *Physik in der Schule*, **30** (9), S. 282 - 285.
- DUIT, R. (1986d): Wege zum Energiebegriff. *physica didactica* **13**, Sonderheft, S. 109 -117.
- DUIT, R. (1987): Unterricht über Energie - Ziele, Lernschwierigkeiten, Wege. *PdN-P* **36** (3), S. 41 - 45.
- DUIT, R. (1987b): Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik - ein Thema für alle Schulstufen! *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie* **35** (24), S. 140 - 146.
- DUIT, R. (1990): Trends der Forschung zum naturwissenschaftlichen Denken - Von Alltagsvorstellungen zur konstruktivistischen Sichtweise. In: WIEBEL, K.H. (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie*. Leuchtturm, Alsbach, S. 112 - 131.
- DUIT, R. (1991): Students' conceptual frameworks: Consequences for learning science. In: GLYNN, S.M.; YEANY, R.H. & BRITTON, B.K. (Hrsg.): *The psychology of learning science*. Erlbaum, Hillsdale, S. 65 - 85.
- DUIT, R. (1992): Forschungen zur Bedeutung vorunterrichtlicher Vorstellungen für das Erlernen der Naturwissenschaften. In: RIQUARTS, K., et al. (Hrsg.): *Naturwissenschaftliche Bildung in der Bundesrepublik Deutschland*. Bd. IV: Aktuelle Entwicklungen und fachdidaktische Fragestellungen in der naturwissenschaftlichen Bildung. IPN. Kiel, S. 47 - 85.
- DUIT, R. (1992b): Vorstellung und Physiklernen. *Physik in der Schule* **30** (9), S. 282 - 285.
- DUIT, R. (1993): Schülervorstellungen - von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik* **16** (4), S. 4 - 10.
- DUIT, R. (1995): Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik* **41** (6), S. 905 - 923.
- DUIT, R. (1996): Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: DUIT, R. & RÖHNECK, C. (Hrsg.): *Lernen im Naturwissenschaftlichen Unterricht*. IPN. Kiel. S. 145 - 162.
- DUIT, R. & GLYNN, S. (1995): Analogien - Brücken zum Verständnis. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik* **6** (27), S.4 - 9.
- DUIT, R. & HÄUBLER, P. (1994): Learning and teaching energy. In: FENSHAM, P.; GUNSTONE, R. & WHITE, R.: *The content of science*. The Falmer Press, London, S. 185 - 200.
- DUIT, R. & HÄUBLER, P. (1996): Physik und andere naturwissenschaftliche Lernbereiche. In: WEINERT, F. E. (Hrsg.): *Enzyklopedie der Psychologie*. Bd. 2: Psychologie der Lernens und der Instruktion. Göttingen, S. 427 - 460.

- DUIT, R. & ZELEWSKI, H.D. v. (1979): Ohne Energie ist es düster in unserem Leben. Aufsätze einer 8. Klasse zum Thema Energie. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie* **27** (2), S. 161 - 164.
- EDELMANN, W. (1986): *Lernpsychologie: Eine Einführung*. Psychologie-Verlags-Union, München.
- EDELSTEIN, W. & HOPPE-GRAFF, S. (Hrsg.) (1993): *Die Konstruktion kognitiver Strukturen*. Bern.
- EGGERSDORFER, F.X. (1930): Konzentration. In: SPIELER, J., et al. (Hrsg.): *Lexikon der Pädagogik der Gegenwart*. Bd. 2. Freiburg, S. 80 - 85.
- EHRHARDT, H.-J. (1980): *Schulexperimente zur Photosynthese, 5. bis 10. Klasse*. Studienbrief des DIFF an der Universität Tübingen. Beltz, Hemsbach.
- EICKHOFF, A. (1993): "Untersuchungen von Schülervorstellungen zur Thematik 'Energiefluß im Ökosystem' ". Schriftliche Hausarbeit, vorgelegt im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt der Sekundarstufe II in Biologie. unveröffentlicht. Bielefeld.
- EIGEN, M. & WINKLER, R. (1985): *Das Spiel. Naturgesetze steuern Zufall*. Piper, München.
- EINSIEDLER, W. (1996): Wissensstrukturierung im Unterricht. Neuere Forschung zur Wissensrepräsentation und ihre Anwendung in der Didaktik. *Zeitschrift für Pädagogik* **42** (2), S. 167 - 191.
- EISEN, Y. & STAVY, R. (1988): Students' understanding of photosynthesis. *The American Biology Teacher* **50** (4), S. 208 - 212.
- EISEN, Y. & STAVY, R. (1993): How to make the learning of photosynthesis more relevant. *International Journal of Science Education* **15** (2), S. 117 - 125.
- EISING, R.; HÖLZENBEIN, S. & PREUB, A. (1998): Wenn die Lichtreaktion im Dunkeln bleibt. Zur Behandlung der photochemischen Primärprozesse im Unterricht der Sekundarstufe II (Teil 1). In: *Berichte des Institutes für Didaktik der Biologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster* **7**, S. 53 - 72.
- EISING, R. & HÖLZENBEIN, S. (1999): Wenn die Lichtreaktion im Dunkeln bleibt. Zur Behandlung der photochemischen Primärprozesse im Unterricht der Sekundarstufe II (Teil 2). In: *Berichte des Institutes für Didaktik der Biologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster* **8**, S. 77 - 90.
- ELLENBERGER, W. (Hrsg.) (1993): *Ganzheitlich-kritischer Biologieunterricht. Für das Leben lernen*. Cornelsen, Berlin.
- ENGELKAMP, J. (1990): *Das menschliche Gedächtnis*. Göttingen.
- ENGEL CLOUGH, E & DRIVER, R (1986): A study consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *International Journal of Science Education* **70** (4), S. 473 - 496.
- ENTRICH, H. & STAECK, L. (Hrsg.) (1992): *Sprache und Verstehen im Biologieunterricht*. Leuchtturm, Alsbach.
- ERDMANN, G. (1992): *Energieökonomik. Theorie und Anwendungen*. Verlag der Fachvereine, Zürich, Teubner, Stuttgart.
- ESCHENHAGEN, D; KATTMANN, U & RODI, D. (Hrsg.) (1995): *Handbuch des Biologieunterrichts. Sekundarbereich I. Bd. 3: Stoff- und Energiewechsel*. Aulis, Köln.
- ESCHENHAGEN, D; KATTMANN, U & RODI, D. (1998): *Fachdidaktik Biologie*. Aulis, Köln.
- FALK, G. & HERRMANN, F. (Hrsg.) (1977): *Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts. Heft 1- Thermodynamik - nicht Wärmelehre, sondern Grundlage der Physik*. Schroedel. Hannover
- FALK, G. & RUPPEL, W. (1976): *Energie und Entropie. Eine Einführung in die Thermodynamik*. Springer, Berlin.
- FALLER, A. (1989): *Der Körper des Menschen*. Thieme, Stuttgart.

- FEDRA, R.-D. (1989): Ausschärfung und Weiterentwicklung von vorwissenschaftlichen Vorstellungen beim Erlernen des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik. Dissertation im Fachbereich Physik an der Gesamthochschule Kassel.
- FEYMAN, J. (1970): "Vorlesung über Physik", Bd. 1. Oldenbourg, München.
- FISCHER, H. E. (1990): "Konstruktivismus und Didaktik der Physik". *physica didactica* **17**, S. 33 - 65.
- FISCHER, H. R. (1991): *Autopoiesis. Eine Theorie im Brennpunkt der Kritik*. Heidelberg.
- FLADT, R. (1998): Energetik im Anfangsunterricht Chemie - eine Leitlinie. *Der Mathematisch-Naturwissenschaftliche-Unterricht* **51** (3), S. 169 - 171.
- FLICK, U. (1995): *Qualitative Forschung*. Rowohlt's Enzyklopädie, Reinbeck.
- FOERSTER, H. v. (1993): *Wissen und Gewissen*. Suhrkamp, Frankfurt a.M..
- FOERSTER, H. v. (1993b): *Kybernetik*. Berlin.
- FORTMÜLLER, R. (1991): *Lenpsychologie*. Manz, Wien.
- FRENZEL, M. (1996): Kraft und Energie. Zwei kokurrierende Größen bei der Einführung der Mechanik. *Der Mathematisch-Naturwissenschaftliche-Unterricht* **49** (4), S. 241 - 246.
- FRICKE, J. & BORST, W.L. (1984): *Energie. Ein Lehrbuch der physikalischen Grundlagen*. Oldenbourg, München.
- FRIEBE, W. (1982): Statements zu einer Podiumsdiskussion über das Thema "Energiebewußtsein als Erziehungsaufgabe" während einer Veranstaltung "Weltproblem Energie" am 9.3.1981. In: BÖHM, W. & SIMONIS, M.: *Weltproblem Energie*. Staatliches Institut für Lehrerfort- und weiterbildung. Speyer.
- FÜHRES, W. (1985): Die Primärreaktionen der Photosynthese - eine Unterrichtseinheit für die SII. *Praxis der Naturwissenschaften-Biologie* **34** (2), S. 4 - 10.
- GAGE, N.L. & BERLINER, D.C. (1996): *Pädagogische Psychologie*. Psychologie Verlags Union, München.
- GAGNÉ, R. M. (1965): *The Conditions of Learning*. Holt, Rinehart & Winston, New York.
- GAGNÉ, R. M. (1993): *The Conditions of Learning and Theory of Instruction*. Holt, Rinehart & Winston, New York.
- GARMS, H. (1974): *Lebendige Welt. Biologie 1*. Westermann, Braunschweig.
- GARNETT, P.J.; GARNETT, P.J. & TREAGUST, D.F. (1990): Implications of research on students' understanding of electrochemistry for improving science curricula and classroom practice. *International Journal of Science Education* **12** (2), S. 147 - 156.
- GATES, D. M. (1971): The Flow of Energy in the Biosphere. *Scientific American*. **225** (3), S. 89 - 100.
- GAUER, O.H. (Hrsg.) (1972): *Physiologie des Menschen. Bd. 1: Bioenergetik*. Urban & Schwarzenberg, München.
- GAYFORD, C. G. (1986): ATP: A coherent view for school advanced level studies in biology. *Journal of Biological Education* **20** (1), S. 27 - 32.
- GAYFORD, C.G. (1986b): Some aspects of the problems of teaching about energy in school biology. *European Journal of Science Education* **8** (4), S. 443 - 450.

- GEHLHAAR, K-H.; KLEPEL, G. & FANKHÄNEL, K. (1999): Analyse der Ontogenese der Interessen an Biologie, insbesondere an Tieren und Pflanzen, an Humanbiologie und Natur- und Umweltschutz. In: DUIT, R. & MAYER, J. (Hrsg.): Studien zur naturwissenschaftlichen Lern- und Interessensforschung, IPN. Kiel, S. 118 - 130.
- GERBERT, F. (1998): Ich bin dumm - und stolz darauf. Wissenschaftliche Außenseiter – die "radikalen Konstruktivisten" - unterwandern die Schulen. Ihr Programm: Psycho-Spiele statt Bildung. FOCUS **45**, S. 250 - 257.
- GERHARDT, A. (1994): Misconceptions-Forschung und ihre Bedeutung für den Biologieunterricht. In: BAYRHUBER, H. & GRÖNKE, O. (Hrsg.): Interdisziplinäre Themenbereiche und Projekte im Biologieunterricht. IPN. Kiel, S. 241 - 245.
- GERHARDT, A. (1994b): Analyse von Schülervorstellungen im Bereich der Biologie und ihre Bedeutung für den Biologieunterricht. In: JÄKEL, L. et al. (Hrsg.): Der Wandel im Lehren und Lernen von Mathematik und Naturwissenschaften. Bd.II. Dt. Studienverlag, Weinheim, S. 122 - 132.
- GERHARDT, A. & BURGER, J. (1997): Ausgangssituation, Methoden und Praxiserfahrungen zu "konstruktivistischer Unterrichtsgestaltung" - Beispiel Photosynthese. In: BAYRHUBER, H. et al. (Hrsg.): Biologieunterricht und Lebenswirklichkeit. IPN. Kiel, S. 384 - 388.
- GERHARDT, A. & BURGER, J. (1997b): Students' conceptions concerning the topic "energy in the biological context". In: BAYRHUBER, H. & BRINKMAN, F. (Hrsg.): What-Why-How? Research in Didactic of Biology. Proceedings of the 1st Conference of European Researchers in Didactic of Biology (ERIDOB). IPN. Kiel.
- GERHARDT-DIRCKSEN, A.; HESSE, M. & SCHUH, B. (1995): Biologie. GN. Ökologie. Bayerischer Schulbuch-Verlag, München.
- GERHARDT, A. & PIEPENBROCK, C. (1990): Misconceptions im Fach Biologie bei Schülern der Sekundarstufe I - Möglichkeiten der Analyse. In: KILLERMANN, W. & STAECK, L. (Hrsg.): Methoden des Biologieunterrichts. Aulis, Köln, S. 223 - 234.
- GERHARDT, A. & PIEPENBROCK, C. (1992): Untersuchungen zu Alltagsvorstellungen von Schülern im Biologieunterricht der Sekundarstufe I - Beispiel "Energie". In: ENTRICH, H. & STAECK, L. (Hrsg.): Sprache und Verstehen im Biologieunterricht. Leuchtturm, Alsbach, S. 257 - 266.
- GERHARDT, A.; PIEPENBROCK, C. & RUSCHE, G. (1993): Students' Misconceptions in Biological Subject Areas and Consequences in Teaching Biology. Proceed. 3rd. Intern. Sem. on "Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics". Ithaca, Cornell University (distributed electronically).
- GERHARDT, A.; RASCHE, B. & RUSCHE, G. (1993): Vorstellungen von Schülern der Sekundarstufe I im Bereich der Biologie. In: VOGT, H. & HESSE, M. (Hrsg.): Berichte des Institutes für Didaktik der Biologie 2. Schnelldruck, Münster, S. 63 - 75.
- GERSTENMAIER, J. & MANDL, H. (1995): Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. Zeitschrift für Pädagogik **41** (6), S. 867 - 887.
- GILBERT J. & POPE M. (1982): School children discussing energy. Report of Institute of Education Development. University of Surrey.
- GILBERT, J. & WATTS, M. (1983): Concepts, misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in Science Education. Studies in Science Education **10**, S. 61 - 98.
- GIRGENSOHN-MARCHAND, B. (1994): Der Mythos Watzlawick und die Folgen. Beltz, Weinheim.
- GLASERSFELD, E. v. (1991): Wissen ohne Erkenntnis. In: PESCHL, M.: Formen des Konstruktivismus in Diskussion. WUV Universitätsverlag, Wien, S. 24 - 31.

- GLASERSFELD, E. v. (1995): Aspekte einer konstruktivistischen Didaktik. In: LANDESINSTITUT FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG: Lehren und Lernen als konstruktive Tätigkeit. Beiträge zu einer konstruktivistischen Theorie des Unterrichts. Verlag für Schule und Weiterbildung, Bönen.
- GLASERSFELD, E.v. (1996): Radikaler Konstruktivismus: Ideen, Ergebnisse, Probleme. Suhrkamp, Frankfurt a.M..
- GLASERSFELD, E. v. (1997): Konstruktion der Wirklichkeit und des Begriffs der Objektivität. In: GUMIN, H. & MEIER, H. (Hrsg.): Einführung in den Konstruktivismus. Oldenbourg, München, S. 1 - 27.
- GLYNN, S. M. (1991): A Constructive Understanding of Learning Science. In: GLYNN, S. M. et al.: The Psychology of Learning Science. Erlbaum, New York, S. 3 - 19.
- GLYNN, S. M. & DUIT, R. (1995): Learning science meaningfully: Constructing conceptual models. In: GLYNN S. M. & DUIT, R. (Hrsg.): Learning science in the schools: Research reforming practice. Erlbaum, New Jersey, S. 3 - 33.
- GOLDMAN-RAKIC, P. S. (1992): Das Arbeitsgedächtnis. Spektrum der Wissenschaft **11**, S. 94 - 102.
- GOLDRING, H. & OSBORNE, J. (1994): Students' difficulties with energy and related concepts. Physics Education **29** (1), S. 26 - 32.
- GOLEMAN, D. (1996): Emotionale Intelligenz. München.
- GOORHUIS, H. (1998): Die konstruktivistische Wissenstheorie. Beitrag für Uni Journal der Universität Zürich.
- GÖRRES-GESELLSCHAFT (1986): Staatslexikon Recht - Wirtschaft - Gesellschaft. 2. Bd.. Herder, Freiburg.
- GRAF, D. (1989): Begriffslernen im Biologieunterricht der Sekundarstufe I. Frankfurt a.M..
- GRAF, D. (1995): Vorschläge zur Verbesserung des Begriffslernens im Biologieunterricht - ein Literaturvergleich. Der Mathematisch-Naturwissenschaftliche-Unterricht **48** (6), S. 341 - 345.
- GROPENGIEßER, H. (1997): Didaktische Rekonstruktion des "Sehens". Dissertation. ZpB, Oldenburg.
- GROPENGIEßER (1997b): Verständnisse erfassen: Unterrichtsnahe Untersuchungsmethoden für Schülervorstellungen. In: BAYRHUBER, H. et. al. (Hrsg.): Biologieunterricht und Lebenswirklichkeit. 10. Internationale Fachtagung der Sektion Fachdidaktik im VDBiol vom 18. bis 22. 9. 1995 in Weilburg. Kiel. IPN, S. 258 - 262.
- GROPENGIEßER, H. (1999): Was die Sprache über unsere Vorstellungen sagt. Kognitionslinguistische Analyse zur Erfassung von Vorstellungen: Das Beispiel Sehen. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften **5** (2), S. 57 - 77.
- HAFNER, L. & PHILIPP, E. (1978): Ökologie. Schroedel Schulbuchverlag, Hannover.
- HAGEMEISTER, V. (1999): Was wurde bei TIMSS erhoben? Die Deutsche Schule **91**, S. 160 - 177.
- HAMMER, H.O. (1994): Studiengänge für das Lehramt - Chemie. In: RIQUARTS, K. (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Bildung in der Bundesrepublik Deutschland. Bd. II. IPN. Kiel, S. 407 - 418.
- HASHWEH, M.Z. (1986): Toward an explanation of conceptual change. European Journal of Science Education **8** (3), S. 229 - 249.
- HASHWEH, M.Z. (1996): Effects of Science Teachers' Epistemological Beliefs in Teaching. Journal of Research in Science Teaching **33** (1), S. 47 - 63.
- HASLAM, F. & TREAGUST, D.F. (1987): Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument. Journal of Biological Education **21** (3), S. 203 - 211.

- HASSINGER, H. & WIEBUSCH, R.-D. (1989): Stoffwechsel und Energiehaushalt bei Pflanze, Tier und Mensch. Einführung in die Biologie, Sekundarstufe II. Moritz Diesterweg, Frankfurt a.M..
- HAUKE, B. (1981): Ein an Schülervorstellungen orientierter Einstieg in die Elektrostatik. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie* **29** (3), S. 103 - 109.
- HAUSS, K. (Hrsg.) (1981): *Medizinische Psychologie im Grundriß*. Hogrefe, Göttingen.
- HÄUBLER, P.; BÜNDER, W.; DUIT, R.; GRÄBER, W. & MAYER, J. (1998): *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung - Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. IPN. Kiel.
- HÄUBLER, P.; FREY, K.; HOFFMANN, L.; ROST, J. & SPADA, H. (1980): *Physikalische Bildung: Ein curriculare Delphi-Studie*. IPN 41. IPN. Kiel.
- HÄUBLER, P. & LAUTERBACH, R. (1976): *Ziele naturwissenschaftlichen Unterrichts. Zur Begründung inhaltlicher Entscheidungen*. Beltz, Weinheim, Basel.
- HAWKINGS, S. (1992): *Kurze Geschichte der Zeit*. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg.
- HEDEWIG, R. (1988): *Naturvorstellungen von Schülern - Ergebnis einer Befragung von Schülern der Jahrgangstufe 3 - 10 unterschiedlicher Schulformen*. In: HEDEWIG, R & STICHMANN, W. (Hrsg.): *Biologieunterricht und Ethik*. Aulis, Köln, S. 212 - 229.
- HEDEWIG, R. (1991): *Stoffwechsel - Grundlage allen Lebens*. *Unterricht Biologie*, **15** (168), S. 1 - 9.
- HEINZE, T.; LOSER, F.W. & THIEMANN, F. (1981): *Praxisforschung: Wie Alltagshandeln und Reflexion zusammengebracht werden können*. Urban&Schwarzenberg, Münschen.
- HESSE, M. (1999): *Absoptionsverhalten der Chlorophylle in der Energiefalle der Photosynthese*. *Berichte des Institutes für Didaktik der Biologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster* **8**, S. 69 - 76.
- HEURSEN, G. (Hrsg.) (1989): *Didaktik im Umbruch - Aufgaben und Ziele der (Fach-) Didaktik in der integrierten Lehrerbildung*. Königstein.
- HEWSON, P.W. (1981): *A Conceptual Change Approach to Learning Science*. *European Journal of Science Education* **3** (4), S. 383 - 396.
- HEWSON, P.W. (1989): *The conditions of conceptual-change in the classroom*. *International Journal of Science Education* **11** (spec. issue), S. 541 - 553.
- HILFREICH, H.-G. (1979): *Der Stellenwert und die Bedeutung der sprachlichen Verständigung für den Grundlegenden Biologieunterricht*. In: *Texte zur mathematisch-naturwissenschaftstechnischen Forschung und Lehre*. Bd. 5. Didaktischer Dienst. Barbara Franzbecker, Salzdetfurth, S. 149 - 163.
- HILGE, C. (1999): *Schülervorstellungen und fachliche Vorstellungen zu Mikroorganismen und mikrobiellen Prozessen - ein Beitrag zur Didaktischen Rekonstruktion*. Dissertation. Oldenburg.
- HILGE, C.; BAALMANN, W.; FRERICHS, V.; GROPENGIEßER, H. & KATTMANN, U. (1998): *Schülervorstellungen als Bausteine und Gedankengebäude - Bereichsspezifität und Kontextabhängigkeit in den Bereichen Mikrobiologie, Evolution und Genetik*. Oldenburger Vordrucke 364/98, Oldenburg.
- HIRSCHFELD, L. A. & GELMAN, S. A. (Hrsg.) (1994): *Mapping the mind*. Cambridge: University Press.
- HOFFMANN, K.; JUNG, W. & WIESNER, H. (1975): *Welche Informationen liefern Assoziationen von Schülern für den Physikunterricht?* In: DAHNKE, H. (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie*. Schroedel, Hannover, S. 279 - 288.
- HÖFLING, O. (1998): *Physik*. Bd. II. Teil 1. *Mechanik - Wärme*. Dümmlers, Bonn.

- HOGAN, K. & FISCHERKELLER, J.E. (1996): Representing Students' Thinking about Nutrient Cycling in Ecosystems: Bidimensional Coding of a Complex Topic. *Journal of Research in Science Teaching* **33** (9), S. 941 - 970.
- HOLLON, R.E. & ANDERSON, C.W. (1986): Teacher's 'understanding of students' scientific thinking: is influence on planing and teaching. Paper presented at the 1986 Annual Meeting of the National Association for Research on Science Teaching, San Fransisco.
- HOLM, K.(Hrsg.) (1975): Die Befragung 1: Der Fragebogen - Die Stichprobe. Francke, München.
- HOPF, C. (1978): Die Pseudo-Exploration - Überlegungen zur Technik qualitativer Interviews in der Sozialforschung. *Zeitung für Soziologie* **7** (2), S. 97 - 115.
- HOOPS, W. (1998): Konstruktivismus. Ein neues Paradigma für Didaktisches Design. *Unterrichtswissenschaft* **26** (3), S. 229 - 238.
- HÜGLI, A. & LÜBCKE P. (Hrsg.) (1997): Philosophielexikon. Personen und Begriffe der abendländischen Philosophie von der Antike bis zur Gegenwart. Rowohlt, Reinbeck.
- IMMELMANN, K. (1996): Einführung in die Verhaltensforschung. Parey Buchverlag, Berlin.
- JAHODA, M.; DEUTSCH, M. & COOK, S.W. (1972): Die Technik der Auswertung: Analyse und Interpretation. In: KÖNIG, R. (Hrsg.): Das Interview. Formen, Technik, Auswertung. *Praktische Sozialforschung 1*. Kiepenheuer & Witsch, Köln, Berlin, S.271 - 289.
- JÄKEL, L. (1994): Zum Verhältnis von Alltag und Biologieunterricht - Erkennen an Phänomenen. In: JÄKEL, L: Der Wandel im Lehren und Lernen von Mathematik und Naturwissenschaften. Dt. Studien-Verlag, Weinheim, S.133-143.
- JANISCH, P. (1996): Konstruktivismus und Naturerkenntnis. Frankfurt a. M..
- JANTSCH, E. (1984): Die Selbstorganisation des Universums. Vom Urknall zum menschlichen Geist. München.
- JENELTEN-ALLKOFER, C. (1979): Energievorstellungen von 5- bis 16jährigen bei physikalischen Experimenten. Dissertation. Kiel.
- JENELTEN-ALLKOFER, C. & DUIT, R. (1980): Entwicklung des Energiebegriffs bei 5- bis 16jährigen. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie* **28** (12), S. 408 - 413.
- JUNG, W. (1978): Zum Problem der Schülervorstellungen (1. Teil). *physica didactica* **5**, S. 125 - 146.
- JUNG, W. (1978b): Zum Problem der Schülervorstellungen (2. Teil). *physica didactica* **5**, S. 231 - 248.
- JUNG, W. (1981): Assoziationstests und verwandte Verfahren. In: R. DUIT, JUNG, W. & PFUNDT, H.: *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Aulis, Köln, S. 196 - 223.
- JUNG, W. (1981b): Zur Bedeutung von Schülervorstellungen für den Unterricht. In: DUIT, R.; JUNG, W. & PFUNDT, H. (Hrsg.): *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Aulis, Köln, S.1 - 23.
- JUNG, W. (1981c): Lebensweltliche und wissenschaftliche Vorstellungen. In: DUIT, R.; JUNG, W. & PFUNDT, H. (Hrsg.): *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Aulis, Köln, S. 64 - 82.
- JUNG, W. (1985): Schülervorstellungen im Physikunterricht - ein didaktisches Problem. *physica didactica*, **12**, S. 11-23.
- JUNG, W. (1986): Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie* **34** (13), S. 2 - 6.
- JUNG, W. (1997): Konstruktivismus, Physikalismus und Phänomenologie. In Erinnerung an Martin Wagenscheins hundertsten Geburtstag. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* **3** (2). S. 3 - 14.

- KAISER, A. & KAISER, R. (1991): Studienbuch Pädagogik: Grund- und Prüfungswissen. Scriptor, Frankfurt a.M..
- KAPLAN, R.W. (1985): Evolution der Pflanzen- und Tierwelt. Heft 4. DIFF. Beltz, Hemsbach.
- KATTMANN, U. (1977): Bezugspunkt Mensch, Grundlegung einer humanzentrierten Strukturierung des Biologieunterrichts. Aulis, Köln.
- KATTMANN, U. (1980): Der Energiebegriff im Biologieunterricht der Sek. I. Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie **29** (11) (Themenheft Energie), S. 396 - 400.
- KATTMANN, U. (1991): Die Dialektik von Sprache und Begriff im Biologieunterricht. In: LEPEL, W.-D. & KATTMANN, U. (Hrsg.): Sprache, Begriffe und Gesetze in der Biologiedidaktik. Greifswalder Kolloquium zu Ehren von Johannes Müller. Carl von Ossietzky Universität. Oldenburg, S. 13 - 24.
- KATTMANN, U. (1992): Originalarbeiten als Quellen didaktischer Rekonstruktion. Unterricht Biologie **16** (174), S. 46 - 49.
- KATTMANN, U.; DUIT, R.; GROPEGIEßER, H. & KOMOREK, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Reduktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftliche Forschung und Entwicklung. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften **3** (3), S. 3 - 18.
- KATTMANN, U. & GROPEGIEßER, H. (1996): Modellierung der didaktischen Rekonstruktion. In: DUIT, R. & RHÖNECK, C. (Hrsg.): Lernen in den Naturwissenschaften. IPN. Kiel.
- KAUFMANN, U. (1989): Chemie - nein danke! Der Mathematisch-Naturwissenschaftliche Unterricht **42** (2), S. 113 - 115.
- KAUPMANN, S. (1998): Schülervorstellungen zu leicht beobachtbaren Phänomenen, die Lebewesen aufgrund von Sonneneinstrahlung zeigen. Schriftliche Hausarbeit, vorgelegt im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt für die Sekundarstufe II und I in Biologie. unveröffentlicht. Bielefeld.
- KERSTEN, E. (1991): Energie als physikalischen Begriff verstehen! Physik in der Schule **29** (4), S. 135 - 139.
- KESIDOU, D. (1990): Schülervorstellungen zur Irreversibilität. IPN 124. Kiel.
- KESIDOU, D. & DUIT, R. (1991): Irreversibilitätsideen: Schülervorstellungen im herkömmlichen Unterricht und im Karlsruher Ansatz. In: KUHN, W. (Hrsg.): Didaktik der Physik. Vorträge der Frühjahrstagung 1991 in Erlangen. Gießen. DPG Fachausschuss Didaktik der Physik, S. 228 - 235.
- KINZEL, H. (1989): Stoffwechsel der Zelle. Die zentralen Vorgänge des Stoffwechsels mit ihren physikalisch-chemischen Grundlagen. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- KIRCHER, E. (1989): Analogien im Physikunterricht. In: SCHNEIDER, W. (Hrsg.): Wege in die Physikdidaktik. Palm & Enke, Erlangen, S. 124 - 134.
- KIRCHHOFF, M. (1992): Mind-Mapping. Die Synthese von sprachlichem und bildhaftem Denken. Berlin.
- KLAFKI, W. (1963): Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Beltz, Weinheim.

- KLÄB, A. (1997): Schülervorstellungen zur Thematik 'Photosynthese' - eine Untersuchung an Schülern der Sekundarstufe II. Schriftliche Hausarbeit, vorgelegt im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt für die Sekundarstufe II und I in Biologie. unveröffentlicht. Bielefeld.
- KLAUSER, T. (1962) (Hrsg.): Reallexikon für Antike und Christentum. Bd. V. A. Hiersemann, Stuttgart.
- KLEE, I. (1983): Die Herkunft der Energie bei Lebewesen. Baustein 8. Naturwissenschaften im Unterricht-Biologie 9 (14) (Themenheft), S. 327 - 332.
- KLEIN, K. & OETTINGER, U. (2000): Konstruktivismus. Die neue Perspektive im (Sach-) Unterricht. Schneider, Hohengehren.
- KLIPPERT, H. (1996): Kommunikationstraining. Übungsbausteine für den Unterricht II. Beltz, Weinheim.
- KLUGE, F. (1963): Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache. de Gruyter, Berlin.
- KM NRW (Kultusministerium des Landes Nordrhein-Westfalen) (1980): Richtlinien und Lehrpläne für die Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Sekundarstufe I. Lernbereich Naturwissenschaften. Verlagsgesellschaft Ritterbach, Frechen.
- KM NRW (Kultusministerium des Landes Nordrhein-Westfalen) (1993): Richtlinien und Lehrpläne für das Gymnasium in Nordrhein-Westfalen. Biologie. Sekundarstufe I. Verlagsgesellschaft Ritterbach, Frechen.
- KM NRW (Kultusministerium des Landes Nordrhein-Westfalen) (1993): Richtlinien und Lehrpläne für das Gymnasium in Nordrhein-Westfalen. Chemie. Sekundarstufe I. Verlagsgesellschaft Ritterbach, Frechen.
- KM NRW (Kultusministerium des Landes Nordrhein-Westfalen) (1993): Richtlinien und Lehrpläne für das Gymnasium in Nordrhein-Westfalen. Physik. Sekundarstufe I. Verlagsgesellschaft Ritterbach, Frechen.
- KNODEL, H.; BAYRHUBER, H., et al. (1983): Linder Biologie. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- KNOLL, J. (Hrsg.), Demmer, G., Thies, M. (1994): Stoffwechsel, Biologie Oberstufe. Westermann, Braunschweig.
- KÖCHLI, H. (1986): Elementare Biochemie. Ein Arbeitsbuch. Moritz Diesterweg, Frankfurt am Main.
- KÖHLER, W. (1958): Dynamische Zusammenhänge in der Psychologie. Huber, Bern.
- KÖHLER, A. (1999): Energie im biologischen Kontext: Ermittlung und Analyse von Schülervorstellungen zur Thematik "Stoffwechsel" bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe II. Schriftliche Hausarbeit, vorgelegt im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt für die Sekundarstufe II und I in Biologie. unveröffentlicht. Bielefeld.
- KÖNIG, R. (1972): Das Interview. Formen, Technik, Auswertung, Praktische Sozialforschung 1. Kiepenheuer & Witsch, Köln, Berlin.
- KRAPP, A. (1992): Konzepte und Forschungsansätze zur Analyse des Zusammenhangs von Interesse, Lernen und Leistung. In: KRAPP, A. & PRENZEL, M. (Hrsg.): Interesse, Lernen, Leistung. Aschendorff, Münster, S. 9 - 52.
- KRAUS, J. (1998): Spaßpädagogik. Sackgassen deutscher Schulpädagogik. Universitas, München.
- KRECH, D. & CRUTCHFIELD, R., S. (1997): Grundlagen der Psychologie. Bechtermünz, Augsburg.
- KREMER, A. & STÄUDEL, L. (1997): Zum Stand des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts in der Bundesrepublik - Eine vorläufige Bilanz. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 3 (3), S. 52 - 66.

- KRIZ, L. (1988): Methoden-Lexikon für Mediziner, Psychologen, Soziologen. Psychologie Verlagsgesellschaft, München, Weinheim.
- KRON, F.W. (1991): Grundwissen Pädagogik. Reinhardt, München, Basel.
- KRÜSSEL, H. (1995): Die konstruktivistische Betrachtungsweise in der Didaktik. In: LANDESINSTITUT FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG (Hrsg.), Lehren und Lernen als konstruktive Tätigkeit. Verlag für Schule und Weiterbildung, Druck Kettler, Bönen, S. 15 - 45.
- KUBLI, F. (1981): Piaget und Naturwissenschaftsdidaktik. Aulis, Köln.
- KÜPPER, H. (1965): Wörterbuch der deutschen Umgangssprache. Bd. III Hochdeutsch - Umgangssprache. Claassen, Hamburg.
- KÜPPERS, G. & KROHN, W. (1992): Selbstorganisation. Zum Stand einer Theorie in den Wissenschaften. In: KROHN, W. & KÜPPERS, G. (Hrsg.): Emergenz: Die Entstehung von Ordnung, Organisation und Bedeutung. Frankfurt a.M., S. 7 - 26.
- LAMNEK, S. (1988): Qualitative Sozialforschung. Bd. 1: Methodologie. Beltz, München.
- LAMNEK, S. (1993): Qualitative Sozialforschung. Bd. 2: Methoden und Techniken. Beltz, München.
- LANDESINSTITUT FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG (Hrsg.) (1993): Mädchen - Naturwissenschaften - Technik - Unterricht. Anregungen zur Überwindung der Benachteiligung von Mädchen. Soest.
- LANGLET, J. (1999): "Bei Kartoffel denken wir nur an Stärke". Das Beharren auf Konzepten: ein Beispiel aus der Praxis. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften **5** (2), S. 51 - 56.
- LAWLOR, D.W. (1990): Photosynthese. Thieme, Stuttgart.
- LECHNER, K. (1989): Biochemie. Bayerischer Schulbuch-Verlag, München.
- LEFRANCOIS, G. R. (1986): Psychologie des Lernens. Springer, Berlin.
- LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L. & COX, M.M. (1994): Prinzipien der Biochemie. Spektrum, Heidelberg.
- LEINHARDT, G. (1987): The Skill of Learning From Classroom Lessons. American Educational Research Journal **24** (4), S. 557.
- LENZEN, D. (Hrsg.) (1989): Pädagogische Grundbegriffe. Bd. 1. Rowohlt, Hamburg.
- LENZEN, W. (1980): Glauben, Wissen und Wahrscheinlichkeit: Systeme der empirischen Logik. Springer, Berlin.
- LEWIS, E.L. & LINN, M.C. (1994): Heat energy and temperature concepts of adolescents, adults, and experts: Implications for curricular improvements. Journal of Research in Science Teaching **31** (6), S. 657 - 677.
- LEWIS, J. L. (1983): Energieerziehung und Gesellschaft. physica didactica **10**, S. 37 - 41.
- LIBBERT, E. (1993): Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. Gustav Fischer, Jena.
- LIJNSE, P. L. (1990): Energy between the Life-World of Pupils and the World of Physics. Science Education **74** (5), S. 571 - 583.
- LIJNSE, P. L. (1995): "Development research" as a way to an empirically based "didactical structure" of science. Science Education **79** (2), S. 189 - 199.
- LOUDEN, W. & WALLACE, J. (1994): Knowing and teaching science: the constructivist paradox. International Journal of Science Education **16** (6), S. 649 - 657.
- LÖWE, B. (1990): Biologie und Chemie. Zum Verhältnis der beiden Naturwissenschaften im Unterricht. Unterricht Biologie **14** (154), S. 4 - 14.
- LÖWE, B. (1992): Biologieunterricht und Schülerinteresse an Biologie. Deutscher Studien Verlag, Weinheim.
- LUHMANN, N. (1997): Die Gesellschaft der Gesellschaft. Frankfurt a.M..

- LUMER, J. & HESSE, M. (1997): Schülervorstellungen über den Weg vom Gen zum Enzym - Teil 2. Der Mathematisch-Naturwissenschaftliche Unterricht **50** (3), S. 165 - 171.
- MAICHLE, U. (1985): Methoden zur Erfassung von Wissensstrukturen. In: MAICHLE, U.: Wissen, Verstehen und Problemlösen im Bereich der Physik. Peter Lang, Frankfurt, S. 99 - 112.
- MAICHLE, U. (1986): Wissen und Verstehen im Physikunterricht: Diagnose auf kognitionspsychologischer Grundlage. *physica didactica* **13** (Sonderheft), S. 53 - 65.
- MANDL, H.; GRUBER, H. & RENKL, A. (1993): Misconception and knowledge compartmentalization. In: STRUBE, G. & WENDER, K.F. (Hrsg.): The cognitive psychology of knowledge. North Holland, Amsterdam, S. 161 - 177.
- MANDL, H., et al. (1988): Theoretische Ansätze zum Wissenserwerb. In: MANDL, H. & SPADA, H. (Hrsg.): Wissenspsychologie. München, S. 123 - 160.
- MANDL, H., et al. (1993): Lernen im Physikunterricht - Brückenschlag zwischen wissenschaftlicher Theorie und menschlicher Erfahrung. In: DEUTSCHE PHYSIKALISCHE GESELLSCHAFT EV., FACHVERBAND DIDAKTIK DER PHYSIK (Hrsg.), Didaktik der Physik. Vorträge Frühjahrstagung 1993, Esslingen am Neckar, S. 21 - 36.
- MANNER, D. (1996): More than misconceptions: Multiple perspectives and student knowledge and reasoning, an appropriate role for education research. *American Journal of Physics* **64** (10), S. 1316 - 1325.
- MANTHEI, U. (1991): Gedanken zu einer fachübergreifenden Begriffsfestlegung "Energie". *Physik und Didaktik*. **4**, S. 264 - 272.
- MARHENKE, E. (1981): Wie läßt sich Schülern des 5. und 6. Schuljahres der Energiebegriff nahebringen? *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie* **29** (12), S. 457 - 475.
- MARHENKE, E. (1986): Der Energiebegriff im Physikunterricht der Sekundarstufe I. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie* **34** (6), S. 201 - 206.
- MATURANA, H. (1977): Biologie der Kognition. FEoll-Institut für Wissenschafts- und Planungstheorie (IWP), Paderborn.
- MATURANA, H. (1982): Erkennen: Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit. Braunschweig, Wiesbaden.
- MATURANA, H. & VARELA, F. (1987): Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens. Scherz, Bern, München, Wien.
- MAYRING, P. (1990): Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zu qualitativem Denken. Psychologie Verlags Union, München.
- MEIXNER, J. (1997): Konstruktivismus und die Vermittlung produktiven Wissens. Luchterhand, Neuwied.
- MERTEN, K.; SCHMIDT, S.J. & WEISCHENBERG, S. (1994): Die Wirklichkeit der Medien. Eine Einführung in die Kommunikationswissenschaft. Opladen.
- METZGER, W. (1986): Gestalt-Psychologie: ausgewählte Werke aus den Jahren 1950 bis 1982. Kramer, Frankfurt a.M..
- MEYER, H. (1993): Unterrichtsmethoden II: Praxisband. Cornelsen Skriptor, Frankfurt a.M..
- MIETZEL, G. (1998): Pädagogische Psychologie des Lernens und Lehrens. Hogrefe, Göttingen.
- MILLER, R. (1998): Stoffvermittlung ist nicht Lernen! Oder: Worüber ich nicht mehr schweigen mag. *Zeitschrift für Pädagogik* **44** (3), S. 29.
- MILLER-KIPP, G. (1995): Konstruktives Lernen im subjektiven Bildungsgang. Biologische Forschungsbestände, erkenntnistheoretische Chimären und pädagogische Folgerungen. In: LANDESINSTITUT FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG (Hrsg.): Beiträge zu einer konstruktivistischen Theorie des Unterrichts. Druck Kettler, Bönen, S. 46 - 70.

- MINSTELL, J. (1991): Facets of students' knowledge and relevant instruction. In: DUIT, R.; GOLDBERG, F. & NIEDDERER, H. (Hrsg.): Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies. IPN 131. Kiel, S. 110 - 128.
- MIRAM, W. & SCHARF, K.-H. (1996): Biologie heute SII. Schroedel, Hannover.
- MOHLER, A. (1985): Einführung in den Konstruktivismus. Oldenbourg, München.
- MOHR, H. & SCHOPFER, P. (1985): Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. Springer, Berlin.
- MOISEL, F. (1986): Energie. Unterricht Biologie **10** (120), S. 4 - 11.
- MOLLENHAUER, K. & RITTELMAYER, C. (1977): Methoden der Erziehungswissenschaft. München.
- MÖRIKE, K. & MERGENTHALER, W. (1959): Biologie des Menschen. Quelle & Meyer, Heidelberg.
- MORTIMER, C.E. (1983): Chemie. Thieme, Stuttgart.
- MSWWF NRW (Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen) (1999): Richtlinien und Lehrpläne. Sekundarstufe II. Gymnasium/Gesamtschule. Biologie. Verlagsgesellschaft Ritterbach, Frechen.
- MSWWF NRW (Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen) (1999): Richtlinien und Lehrpläne. Sekundarstufe II. Gymnasium/Gesamtschule. Chemie. Verlagsgesellschaft Ritterbach, Frechen.
- MSWWF NRW (Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen) (1999): Richtlinien und Lehrpläne. Sekundarstufe II. Gymnasium/Gesamtschule. Physik. Verlagsgesellschaft Ritterbach, Frechen.
- MSWWF NRW (Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen) (2000): Richtlinien und Lehrpläne. Naturwissenschaften. Gesamtschule. Verlagsgesellschaft Ritterbach, Frechen.
- MÜLLER, J. (1989): Allgemeine und besondere Aspekte der Biologiemethodik bei der Bildung und Vernetzung von Begriffen. In: Wissenschaftliche Zeitung der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald **39**, S. 12 -24.
- MÜLLER, K. (1996): Erkenntnistheorie und Lerntheorie. Geschichte ihrer Wechselwirkung vom Repräsentationalismus über den Pragmatismus zum Konstruktivismus. In: MÜLLER, K. (Hrsg.): Konstruktivismus: Lehren – Lernen – ästhetische Prozesse. Luchterhand, Neuwied.
- MÜLLER, K. (1996a): Wege konstruktivistischer Lernkultur. In: MÜLLER, K. (Hrsg.): Konstruktivismus: Lehren – Lernen – ästhetische Prozesse. Luchterhand, Neuwied.
- MÜLLER, W. (1999): Tier- und Humanphysiologie. Springer, Berlin.
- MUTHUKRISHNA, N.; CARNINE, D. & GROSSEN, B. (1993): Children's alternative frameworks: Should they be directly addressed in science instruction? Journal of Research in Science Teaching **30** (3), S. 232 - 248.
- NAHRSTEDT, W.; BRINKMAN, D. & STEHR, I. (Hrsg.) (1995): Moderne Lernformen und Lerntechniken in der Erwachsenenbildung. Kritische Einschätzung bestehender Ansätze und Empfehlungen. Institut für Freizeitwissenschaft und Kulturarbeit e.V.. Bd. 17. gustav brinkjost, Bielefeld.
- NEEDHAM, R & HILL, P. (1987): Teaching Strategies for Developing Understanding in Science. Childrens learning in Science Project (CliS). University of Leeds.
- NICHOLLS, G. (1993): Dimensions of children's conceptions of energy. International Journal of Science Education **15** (1), S. 73 - 81.
- NIEDDERER, H. (1994): Die Veränderung von Schülervorstellungen im Physikunterricht - eine Lernprozessstudie zum elektrischen Stromkreis. In: BEHRENDT, H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie. Bd. L14. Leuchtturm, Alsbach, S. 274 - 276.

- NIEDDERER, H. & SCHECKER, H. (1992): Towards an explicit description of cognitive systems for research in physics learning. In: DUIT, R.; GOLDBERG, F. & NIEDDERER, H. (Hrsg.): Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies. IPN. Kiel. S. 74 - 98.
- NITZSCHMANN, R. (1997): Umweltverträgliche Düngemittel-Produktion: "Wir geben der Pflanze die Energie, die sie zum Wachsen braucht.". In: INDUSTRIEVERBAND AGRAR (Hrsg.): Profil **4**, S. 14 - 15.
- NOVAK, J. D. (1987): Human constructivism: Toward a Unity of Psychological and Epistemological Meaning Making. In: NOVAK, J. D. (Hrsg.): Proceedings of the 2. Int. Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. Ithaca. NY: Cornell University. Department of Education.
- NULTSCH, W. (1996): Allgemeine Botanik. Thieme, Stuttgart.
- NUSSBAUM, J. & NOVICK, S. (1982): Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy. *Instructional Science* **11**, S. 183 - 200.
- NÜSE, R. (1995): Über die Erfindung/en des Radikalen Konstruktivismus. Kritische Gegenargumente aus psychologischer Sicht. Deutscher Studien Verlag, Weinheim.
- ODUM, E.P (1998): Ökologie. Thieme, Stuttgart.
- OGBORN, N.J. (1983): Unterricht über Energie. *physica didactica* **10**, S. 17-42.
- OLTERSDORF, U. (1982): Die Versorgung mit Nahrungsmitteln - ein klassisches Energieproblem. In: BÖHM, W. & SIMONIS, M. (Hrsg.): Weltproblem Energie. Staatliches Institut für Lehrerfort- und weiterbildung. Bd. 50. Speyer, S. 256 - 266.
- OPWIS, K & LÜER, G. (1996): Modell der Repräsentation von Wissen. In: ALBERT, D. & STAPF, K.-H. (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C: Theorie und Forschung. Serie II: Kognition. Bd. 4: Gedächtnis. Hogrefe, Göttingen, S. 337 - 431.
- OSBORNE, R.J. & BELL, B.F. (1983): Science teaching and childrens' views of the world. *European Journal of Science Education* **5** (1), S. 1 - 14.
- PFEIFER, W. (Hrsg.) (1993): Etymologisches Wörterbuch des Deutschen. Akademie Verlag, Berlin.
- PFUNDT, H. (1981): "Die Diskrepanz zwischen muttersprachlichem und wissenschaftlichem "Weltbild": ein Problem der Naturwissenschaftsdidaktik". In: DUIT, R.; JUNG, W. & PFUNDT, H. (Hrsg.): Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht. Aulis, Köln.
- PFUNDT, H. & DUIT, R. (1994): Bibliographie zum Thema "Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht". IPN. Kiel.
- PFUNDT, H. & DUIT, R. (2000): Bibliographie zum Thema "Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht". IPN. Kiel (distributed electronically).
- PIAGET, J. (1974): Der Aufbau der Wirklichkeit beim Kinde. Stuttgart.
- PIAGET, J. (1980): "The Psychogenesis of Knowledge and its Epistemological Significance". In MASSIMO, P.-P. (Hrsg.): Language und Learning: The Debats between Jean Piaget und Norman Chomsky. Havard University Press, Cambringe.
- PINES, L.; NOVAK, J.D.; POSNER, G.J. & VANKIRIK, J. (1978): The clinical interview: A method for evaluating cognitive structure. Ithaca. Cornell University.
- PINTRICH, P. R.; MARX, R. W. & BOYLE, R. A. (1993): Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research* **63**, S. 167 - 199.
- PLOGER, D. (1991): Reasoning and learning about mechanism in biology. *Journal of Biological Education* **25** (1), S. 53 - 60.
- PORBECK, A. (1998): Vorstellungen von Schülern der Sekundarstufe I zum Themenbereich "Ökosystem Wald" unter besonderer Berücksichtigung energetischer Aspekte. Schriftliche Hausar-

- beit, vorgelegt im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt für die Sekundarstufe I im Fach Biologie. unveröffentlicht. Bielefeld.
- POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W. & GERTZOG, W. A. (1982): Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education* **66** (2), S. 211 -227.
- POSTMAN, N. (1997): *Keine Götter mehr*. München.
- PRENZEL, M. (1993): Autonomie und Motivation im Lernen Erwachsener. *Zeitschrift für Pädagogik* **39** (2), S. 239 - 253.
- PROSKE, M (1997): "Energie ist nicht gleich Energie." *VGB-KRAFTWERKSTECHNIK* **76** (12), S. 980 - 988.
- REICH, K. (1998): *Systemisch-konstruktivistische Pädagogik. Einführung in eine interaktionistisch konstruktivistische Pädagogik*. Luchterhand, Neuwied.
- REIF, F. & LARKIN, J.H. (1991): Cognition in scientific and everyday domains: Comparison and learning implications. *Journal of Research in Science Teaching* **28** (9), S. 733 - 760.
- REIMANN, P. (1997): *Lernprozesse beim Wissenserwerb aus Beispielen: Analyse, Modellierung, Förderung*. Hans Huber, Bern.
- REIMANN, P. (1998): Novizen- und Expertenwissen. In: *Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D: Theorie und Forschung. Serie II: Kognition. Bd. 7: Wissen*. Hogrefe, Göttingen, S. 336 - 368.
- REINMANN-ROTHMEIER, G. & MANDL, H. (1997): Lehren im Erwachsenenalter. In: WEINERT, F. & MANDL, H. (Hrsg.): *Psychologie der Erwachsenenbildung*. Göttingen.
- REINMANN-ROTHMEIER, G. & MANDL, H. (1998): Wissensvermittlung: Ansätze zur Förderung des Wissenserwerbs. In: *Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D: Theorie und Forschung. Serie II: Kognition. Bd. 7: Wissen*. Hogrefe, Göttingen, S. 457 - 500.
- RETHMEIER, K. (1998): *Vorstellungen von Schülern der Sekundarstufe I (Gymnasium) zum Themenbereich "Ökosystem Stadt" unter der besonderen Berücksichtigung energetischer Aspekte. Schriftliche Hausarbeit, vorgelegt im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt für die Sekundarstufe I in Biologie*. unveröffentlicht. Bielefeld.
- RICHTER, G. (1988): *Stoffwechselfysiologie der Pflanzen*. Thieme, Stuttgart.
- RICHTER, R. (1996): Konkretes Konstruieren: Die (Re)organisation ästhetischer Strukturen als Produktionsanlaß im Sprachunterricht. In: MÜLLER, K. (Hrsg.): *Konstruktivismus: Lehren - Lernen - ästhetische Prozesse*. Luchterhand, Neuwied.
- RITCHIE, S.M.; TOBIN, K. & HOOK, K.S. (1997): Teaching Referents and the Warrants Used to Test the Viability of Students' Mental Models: Is There a Link? *Journal of Research in Science Teaching* **34** (3), S. 223 - 238.
- RODAX, K. & SPITZ, N. (1982): *Soziale Umwelt und Schulerfolg*. Beltz, Weinheim.
- ROER, W. & BÖMER, B. (1992): Auf dem Weg zu einem besseren naturwissenschaftlichen Unterricht. SchülerInnenorientierung kontra LehrerInnenorientierung?. In: LANDESINSTITUT FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG (Hrsg.): *Schularbeit* **4**. Soest, S. 12 - 20.
- ROSEMANN, H. (1974): *Arbeitsheft für Psychologie. Bd. 7: Lernen, Behalten und Denken*. Pölerz, Bissendorf.
- ROSS, K.A. (1993): There is no energy in food and fuels - but they do have fuel value. *School Science Review* **75** (271), S. 39 - 47.
- ROST, J. (1996): *Lehrbuch Testtheorie. Testkonstruktion*. Huber, Bern.
- ROTH, G. (1992): *Das konstruktive Gehirn*. In: SCHMIDT, S. (Hrsg.): *Kognition und Gesellschaft*. Frankfurt.
- ROTH, G. (1995): *Das Gehirn und seine Wirklichkeit*. Suhrkamp, Frankfurt.

- ROTH, G. (1996): Schnittstelle Gehirn. Zwischen Geist und Welt. Benteli, Bern.
- ROTH, G. (1997): "Neurobiologie und Psychologie von Lern- und Gedächtnisprozessen". In: BAYRHUBER, H. et al. (Hrsg.): Biologie und Lebenswirklichkeit. 10. Internationale Fachtagung der Sektion Fachdidaktik im VDBiol vom 18. bis 22. 9. 1995 in Weilburg. IPN. Kiel, S. 221 - 225.
- ROTH, K. (1987): The Power Plant: Teachers' Guide to Photosynthesis. Institute for Research on Teaching. College of Education. Michigan State University.
- ROTH, W.-M.; ANDERSON, C.W. & SMITH, E.L. (1987): Curriculum materials, teacher talk and student learning: Case studies in fifth-grade science teaching. *Journal of Curriculum Studies* **19**, S. 527 - 548.
- ROWE, M. B. (1986): Wait-time: Slow down may be a way of speeding up. *Journal of Teacher Education*. **37**, S. 43 - 50.
- ROWELL, J.A.; DAWSON, C.J. & LYNDON, H. (1990): Changing misconceptions: a challenge to science educators. *International Journal of Science Education* **12** (2), S. 167 - 175.
- RÜHENBECK, C. (1990): Energieerhaltung - a priori oder durch Erfahrung? In: *Der Mathematisch-Naturwissenschaftliche-Unterricht* **43** (7), S. 433 - 435.
- RUSCH, G. (1987): Erkenntnis, Wissenschaft, Geschichte. Von einem konstruktivistischen Standpunkt. Suhrkamp, Frankfurt a.M..
- RUSCH, G. & SCHMIDT, S.J. (Hrsg.) (1992): *Konstruktivismus: Geschichte und Anwendung*. Suhrkamp, Frankfurt a.M..
- SACHS-HOMBACH, K. (Hrsg.) (1995): *Bilder im Geiste*. Amsterdam.
- SACHSSE, H. (1988): Was ist das – Zufall? Und: Was ist das – Gesetz? In: BÖHME, W. (Hrsg.): *Evolution und Gottesglaube*. Göttingen.
- SALZA, A. (1993): *Evolution des Menschen*. Kaiser, Klagenfurt.
- SANDOVAL, J. (1995): "Teaching in Subject Matter Areas: Science". *Annual review of Psychology* **46**, S. 355 - 374
- SAUER, J & GAMSJÄGER, E. (1996): Ist Schulerfolg vorhersagbar? Die Determinanten der Grundschulleistung und ihr prognostischer Wert für den Sekundarschulerfolg. Hogrefe, Göttingen.
- SCHAEFER, G. (1971): Probleme der Curriculum-Konstruktion. *Der Biologieunterricht* **7** (4), S. 6 - 17.
- SCHAEFER, G. (1982): Der Beitrag des Biologieunterrichts zur Entwicklung eines Energiebewußtseins. In: BÖHM, W. & SIMONIS, M.: *Weltproblem Energie*. Teil 1. Staatliches Institut für Lehrerfort- und weiterbildung. Speyer, S.171 - 197.
- SCHAEFER, G. (1983): Der Energiebegriff im ökologischen Kontext. *Praxis der Naturwissenschaften-Biologie* **32** (7), S. 197 - 201.
- SCHAEFER, G. (1983b): The Concept Triangle "Energy-Information-Order" in the Heads of our Students. paper presented to the seminar "Entropy in School". Lake Balaton.
- SCHAEFER, G. (1992): Begriffsforschung als Mittel zur Unterrichtsgestaltung. In: ENTRICH, H. & STAECK, L. (Hrsg.): *Sprache und Verstehen im Biologieunterricht*. Leuchtturm, Alsbach.
- SCHAEFER, G. (1998): Biologie und Sprache - Etymologische Betrachtungen im neuen Oberstufenunterricht - Teil 1. In: *MATERIALIEN BIOLOGIE*. M 5. Stark, Freising, S. 1 - 16.
- SCHAEFER, G. (1999): TIMSS - und kein Ende. Eine komplementäre Studie über Denkweisen deutscher und japanischer Schüler. *Der Mathematisch-Naturwissenschaftliche-Unterricht* **52** (2), S. 68 - 73.
- SCHÄFER, K. (1982): Energie im Physikunterricht und im Alltagsleben. In: BÖHM, W. & SIMONIS, M. (Hrsg.): *Weltproblem Energie*. Teil II. Staatliches Institut für Lehrerfort- und weiterbildung. Speyer, S. 22 - 30.

- SCHÄFERS, B. (Hrsg.) (2000): Grundbegriffe der Soziologie. Leske & Budrich, Opladen.
- SHECKER, H. (1985): Das Schülerverständnis zur Mechanik. Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftstheoretischer Aspekte. Vorgelegt dem Fachbereich I (Physik/Elektrotechnik) der Universität Bremen zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften. Bremen.
- SHECKER, H.; BETHGE, T.; BREUER, E.; DWINGELO-LÜTTEN, R.; GRAF, H-U.; GROPEGIEBER, I. & LANGENSIEPEN, B. (1996): Naturwissenschaftlicher Unterricht im Kontext allgemeiner Bildung. *Der Mathematisch-Naturwissenschaftliche-Unterricht* **49** (8), S. 488 - 492.
- SCHENK, B. (1982): Was verstehen Schüler der Sekundarstufe II unter dem Begriff Energie? *physica didactica* **9**, S. 61 - 70.
- SCHERMER, A.F.K. & ACHTERSTRAAT, J.A. (1991): Changing students' ideas about the ecological cycle of matter and flow of energy. Paper presented at the ATEE-conference. Noordwijkerhout, Holland.
- SCHERMER, F. J. (1999): Grundlagen der Psychologie. Kohlhammer, Köln.
- SCHLETTER, J.C. (1998): Zur Veränderung vorunterrichtlicher Schülervorstellungen zum Thema "Lernen und Gedächtnis" in Richtung wissenschaftlicher Konzepte - eine Interventionsstudie in der gymnasialen Oberstufe. Dissertation. Kiel.
- SCHLETTER, J. C. & BAYRHUBER, H. (1998): Lernen und Gedächtnis - Kompartimentalisierung von Schülervorstellungen und wissenschaftlichen Konzepten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* **4** (3), S. 19 - 34.
- SCHLICHTING, H.J. (1989): Zum Antrieb natürlicher Stoffkreisläufe. *physica didactica* **4**, S. 47 - 58.
- SCHLICHTING, H.J. & BACKHAUS, U. (1979): Energie als grundlegendes Konzept. *Physik und Didaktik*. **2**, S. 139 - 152.
- SCHLICHTING, H.J. & BACKHAUS, U. (1980): Vom Wert der Energie. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie* **28** (11), S. 377 - 381.
- SCHLÖSSER, K. (1993): Gedanken zur Energetik im Chemieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht-Chemie* **18**, S. 336 - 341.
- SCHMID, G.B. (1982) Energy and its carriers. *Physics Education* **17**, S. 212 - 218.
- SCHMIDT, D. (1989): Zum Konzeptwechsel. Dissertation am Fachbereich Physik/Elektrotechnik. Universität Bremen.
- SCHMIDT, R.F. & THEWS, G. (1990): Physiologie des Menschen. Springer, Berlin.
- SCHMIDT, S. (1993): Untersuchungen zu Schülervorstellungen zum Phänomen der Photosynthese (Schwerpunkt: Energetischer Aspekt). Schriftliche Hausarbeit, vorgelegt im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt für die Sekundarstufe II und I im Fach Biologie. unveröffentlicht. Bielefeld.
- SCHMIDT, S. (1994): Kognitive Autonomie und soziale Orientierung. Suhrkamp, Frankfurt a.M..
- SCHMIDT, S. (Hrsg.) (1992): Kognition und Gesellschaft. Frankfurt.
- SCHMIDT, S. J. (1987): Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus. Frankfurt a.M..
- SCHMIDT-SUDHOFF, V. G. (1993): Energie im Anfangsunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht-Chemie* **18**, S. 342 - 349.
- SCHMIDT-SUDHOFF, V. G. (1993b): Beobachtungen zum Energiebegriff. *Naturwissenschaften im Unterricht-Chemie* **18**, S. 328 - 335.
- SCHNOTZ, W. (1994): Aufbau von Wissensstrukturen: Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten. Beltz, Weinheim.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (1994): Klima im Wandel. Vom Treibhauseffekt, Ozonloch und Naturkatastrophen. Rowohlt, Reinbeck.

- SCHRAMMEIER, A. (1990): Wortbedeutung im Gedächtnis. Hogrefe, Göttingen.
- SCHUBERT, F. (1991): Grundlagen für einen schülerorientierten Unterricht - eine Anregung. *Biologie in der Schule* **40** (5), S. 188 - 191.
- SCHUNK, D.H. (1991): Learning theories: An educational perspective. Merrill/Macillan. New York.
- SCHÜTZ, A. & LUCKMANN, T. (1975): Struktur der Lebenswelt. Luchterhand, Neuwied.
- SCHÜTZE, Z. (1973): Grundlagentheoretische Voraussetzungen methodisch kontrollierten Fremdverstehens. In: ARBEITSGRUPPE BIELEFELDER SOZIOLOGEN (Hrsg.): Alltagswissen, Interaktion und gesellschaftliche Wirklichkeit. Rowohlt, Reinbeck.
- SEEL, N. M. (1991): Weltwissen und mentale Modelle. Hogrefe, Göttingen.
- SEYMOUR, J. (1991): Respiration - that's breathing, isn't it? *Journal of Biological Education* **25** (3), S. 177 - 183.
- SHEPARDSON, D.P. (1997): Of Butterflies and Beetles: First Graders' Ways of Seeing and Talking about Insect Life Cycles. *Journal of Research in Science Teaching* **34** (9), S. 873 - 889.
- SHULMAN, L. S. (1986): Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher* **15**, S. 4 - 14.
- SIEBERT, H. (1996): Bildungsarbeit: konstruktivistisch betrachtet. Verlag für Akademische Schriften. Frankfurt a.M..
- SIEBERT, H. (1999): Pädagogischer Konstruktivismus: eine Bilanz der Konstruktivismusdiskussion für die Bildungspraxis. Luchterhand, Neuwied.
- SIMPSON, M. (1982): The inappropriate use of subsumers in biology learning. *European Journal of Science Education* **4** (2), S. 173 - 183.
- SINGLY, M.K. & ANDERSON, J.R. (1989): The transfer of cognitive skill. Harvard University Press, Cambridge.
- SMITH, E.L.; BLAKESLEE, T.D. & ANDERSON, C.W. (1993): Teaching Strategies Associated with Conceptual Change Learning in Science. *Journal of Research in Science Teaching* **30** (2), S. 111-126.
- SOLOMON, J. (1983): Learning about energy: how pupils think in two domains. *European Journal of Science Education* **5** (1), S. 49 - 59.
- SOLOMON, J. (1987): Energy: the ghost in the body. *School Science Review* **68** (244), S. 635 - 644.
- SOLOMON, J. (1992): Getting to Know about Energy in School and Society. Palmer Press, London.
- SORRELLS, N. R. & PIMENTEL, D (1981): Food, Energy, and the Environment: Alternatives for Creating New Lifestyles. *The American Biology Teacher* **43** (4), S. 190 - 195.
- SOSSINKA, R. (1988): Ethologie. 1. Einführung in die Ethologie. Deutsches Institut für Fernstudien an der Universität Tübingen. Beltz. Hemsbach.

- SPANHEL, D. (1980): Die Unterrichtssprache in ihrer Vermittlerfunktion zwischen Umgangssprache und naturwissenschaftlicher Fachsprache. In: SCHAEFER, G. & WERNER, L. (Hrsg.): Kommunikative Grundlagen des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Beltz, Weinheim, S. 176 - 187.
- SPÖHRING, W. (1989): Qualitative Sozialforschung. Teubner, Stuttgart.
- STÄDTLER, T. (Hrsg.) (1998): Lexikon der Psychologie. Wörterbuch, Handbuch, Studienbuch. Körner, Stuttgart.
- STAECK, L. (1995): Zeitgemäßer Biologieunterricht, eine Didaktik. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- STAVY, R. (1991): Using analogy to overcome misconceptions about conservation of matter. *Journal of Research in Science Education* **24** (4), S. 305 - 313.
- STAVY, R.; EISEN, Y. & YAAKOBI, D. (1987): How students aged 13-15 understand photosynthesis. *International Journal of Science Education* **9** (1), S. 105 - 115.
- STEGEMANN, W. (Hrsg.) (1978): Ewige Welt. Orbis, Hamburg.
- STEINMEIER, S. (1995): Schülervorstellungen zum Phänomen "Photosynthese" - eine empirische Untersuchung an Schülern der Sekundarstufe I mit Hilfe der Interview-Methode. Schriftliche Hausarbeit, vorgelegt im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt für die Sekundarstufe I im Fach Biologie. unveröffentlicht. Bielefeld.
- STORK, H. (1993): "Sprache im naturwissenschaftlichen Unterricht", in: DUIT, R. & GRÄBER, W. (Hrsg.): Kognitive Entwicklung und Lernen der Naturwissenschaften. Kiel, S. 63 - 84.
- STORK, H. (1995): "Was bedeuten die aktuellen Forderungen "Schülervorstellungen berücksichtigen, konstruktivistisch lehren" für den Chemieunterricht der Sekundarstufe I?". *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* **1** (1), S. 15 - 28.
- STRASBURGER, E.; NOLL, F.; SCHENCK, H. & SCHIMPER, A.F.W. (1983): Lehrbuch der Botanik. Gustav Fischer, Stuttgart.
- STRICKBERGER, M. (1988): Genetik. Carl Hansa, Wien.
- STROHSCHNEIDER, S. (1990): Wissenserwerb und Handlungsorganisation. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- STRUBE, G. (1996) (Hrsg.): Wörterbuch der Kognitionswissenschaft. Klett-Cotta, Stuttgart.
- STRYER, L. (1987): Biochemie. Vieweg, Braunschweig.
- STUART, H.A. & KLAGES, G. (1984): Kurzes Lehrbuch der Physik. Springer, Berlin.
- SUMFLETH, E. (1987): Verfahren zur Untersuchung kognitiver Strukturen. *chemica didactica* **13**, S. 161 - 193.
- SUMFLETH, E. (1989): Das Vorwissen der Schüler - eine wesentliche Variable in Problemlöseprozessen. In: WIEBEL, K. H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie. Leuchtturm, Kassel, S. 89 - 111.
- SUMFLETH, E. (1991): Mentale Repräsentationen - ein lernpsychologisches Konstrukt mit Bedeutung für die Chemiedidaktik? *Der Mathematisch-Naturwissenschaftliche-Unterricht* **44** (8), S. 458 - 463.
- SZADAY, C.; BÜELER, X. & FAVRE, B. (1996): Schulqualitäts- und Schulentwicklungsforschung: Trends, Synthesen und Zukunftsperspektiven. SKBF, Aarau.
- TABER, K. (1989): Energy - by many other names. *School Science Review* **3**, S. 57 - 62.
- TIBERGHEN, A. (1980): Modes and conditions of learning - An example: The learning of some aspects of the concept of heat. In: ARCHENHOLD, F.; DRIVER, R.; ORTON, A. & WOODROBINSON, C. (Hrsg.): Cognitive development: Research in science and mathematics. Leeds, S. 288 - 309.

- TILLMAN, K.-J. (1999): Deutsche Schulen unter "ferner liefern". Was leisten (internationale) Leistungsvergleiche? *Schüler* **5**, S. 84 - 87.
- TREAGUST, D.F.; HARRISON, A.G. & VENVILLE, G.J. (1996): Using an analogical teaching approach to engender conceptual change. *International Journal of Science Education* **18** (2), S. 213 - 229.
- TRINCER, K. (1981): *Gesetze der biologischen Thermodynamik*. Urban & Schwarzenberg. Wien.
- TROMMER, G. (1982): Energiefluß und Materiekreislauf in der Biosphäre - Leitgedanken des Biologieunterrichts. In: BÖHM, W. & SIMONIS, M (Hrsg.): *Weltproblem Energie*. Staatliches Institut für Lehrerfort- und weiterbildung. Speyer, S. 198 - 209.
- TRUMPER, R. (1990): Being constructive: an alternative approach to the teaching of energy concept - part one. *International Journal of Science Education* **12** (4), S. 343 - 354.
- TRUMPER, R. (1991): Being constructive: an alternative approach to the teaching of energy concept - part two. *International Journal of Science Education* **13** (1), S. 1 - 10.
- TRUMPER, R. (1997): A survey of conceptions of energy of Israeli preservice high school biology teachers. *International Journal of Science Education* **19** (1), S. 31 - 46.
- TRUMPER, R. & GORSKY, P. (1993): Learning about Energy: The Influence of Alternative Frameworks, Cognitive Levels and Closed-Mindedness. *Journal of Research in Science Teaching* **30** (7), S. 637 - 648.
- TYLER, R.W. (1973): *Curriculum und Unterricht*. Schwann, Düsseldorf.
- VARELA, F. (1990): *Kognitionswissenschaft - Kognitionstechnik*. Frankfurt a. M..
- VENVILLE, G.J. & TREAGUST, D.F. (1996): Modelle und Analogien im Unterricht über Genetik an weiterführenden Schulen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* **2** (1), S. 69 - 85.
- VESTER, F. (1979): *Aufmerksamkeitstraining in der Schule*. Diskussion Unterricht. Bd. 6. Quelle und Meyer, Heidelberg.
- VESTER, F. (1980): *Neuland des Denkens*. Stuttgart.
- VESTER, F. (1982): *Denken, Lernen, Vergessen*. München.
- VIENNOT, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education* **1** (2), S. 205 - 221.
- VOSNIADOU, S. (1988): Knowledge restructuring and science instruction. Paper presented at the Annual Meeting of the AERA. New York.
- VOSNIADOU, S. (1992): Modelling the learner: Lessons from the study of knowledge reorganization in astronomy. In: TIBERGHIE, A. & MANDL, H. (Hrsg.): *Intelligent learning environments and problem solving*. Springer, Berlin.
- VOSS, R. (Hrsg.) (1996): *Die Schule neu erfinden: Systemisch-konstruktivistische Annäherungen an Schule und Pädagogik*. Luchterhand, Neuwied.
- WAGENSCHIN, M. (1973): *Verstehen lernen*. Weinheim, Basel.
- WAHRIG, G.; KRÄMER, H. & ZIMMERMANN, H. (Hrsg.) (1981): *Brockhaus Wahrig. Deutsches Wörterbuch in sechs Bänden. 2. Bd.*. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart.
- WANDERSEE, J.H.; MINTZES, J.J. & NOVAK, J.D. (1994): "Research on Alternative Conceptions in Science". In: GABEL, D. L. (Hrsg.): *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Macmillan Publishing Company, New York, S. 177 - 210.
- WARREN, J. W. (1982): The nature of energy. *European Journal for Science Education* **4** (3), S. 295 - 297.
- WATTS, M. (1983): Some alternative views of energy. *Physics Education* **18** (4), S. 213 - 217.
- WATTS, M. (1997): Prompting teachers' constructive reflection: pupils' questions as critical incidents. *International Journal of Science Education* **19** (9), S.1025 - 1037.

- WATTS, M. & BENTLEY, D. (1994): Humanizing and feminizing school science: reviving anthropomorphic and animistic thinking in constructivist science education. *International Journal of Science Education* **16** (1), S. 83 - 97.
- WATZLAWICK, P. (Hrsg.) (1995): *Die erfundene Wirklichkeit*. Piper & Co, München.
- WEBER, S. (1996): *Die Dualisierung des Erkennens. Zu Konstruktivismus, Neurophilosophie und Medientheorie*. Passagen.
- WEINERT, F.E. & WALDMANN, M.R. (1988): Wissensentwicklung und Wissenserwerb. In: MANDL, H. & SPADA, H. (Hrsg.): *Wissenspsychologie*. Psychologie Verlags-Union, München, S. 161 - 199.
- WENK, K. & TROMMER, G. (1977): *Naturerscheinung Energie. Leitthemen 1*. Westermann, Braunschweig.
- WERNING, R. (1998): Konstruktivismus. Eine Anregung für die Pädagogik!? *Pädagogik* **44** (7-8), S. 39 - 41.
- WESSELLS, M. G. (1984): *Kognitive Psychologie*. München.
- WHITE, R. & GUNSTONE, R. (1992): *Probing Understanding*. The Falmer Press, London.
- WHITE, R.T. & GUSTONE, R.F. (1989): Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science Education* **11** (1), S. 577 - 586.
- WIEKEN-MAYSER, M. (1974): *Techniken der empirischen Sozialforschung. Bd. 4. Erhebungsmethoden: Die Befragung*. Oldenburg, München.
- WIESER, W. (1995): Die Optimierung des Energie- und Stoffhaushalts von Zellen durch die Evolution. *Biologie in unserer Zeit* **25**, S. 140 - 145.
- WIESER, W. (1986): *Bioenergetik*. Thieme, Stuttgart.
- WIESNER, H. (1994): Ein neuer Optikkurs für die Sekundarstufe I, der sich an Lernschwierigkeiten und Schülervorstellungen orientiert. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik* **42** (22), S. 7-15.
- WINN, W. (1993): A constructivist critique of the assumptions of instructional design. In: DUFFY, T. A., et al. (Hrsg.): *Designing environments for constructive learning*. Springer, Berlin, S. 189 - 212.
- WIRTSCHAFTSAKADEMIE FÜR LEHRER (Hrsg.) (1985): *Thema: Energie. Bausteine für den Unterricht in der Sekundarstufe II*. Verlag wwt, Bad Harzburg.
- WITKOWSKY, J. (1994): *Das Interview in der Psychologie: Interviewtechnik und Codierung von Interviewmaterial*. Westdeutscher Verlag, Opladen.
- WYRWA, H. (1995): "Konstruktivismus und Schulpädagogik - Eine Allianz für die Zukunft?" In: LANDESINSTITUT FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG (Hrsg.): *Beiträge zu einer konstruktivistischen Theorie des Unterrichts*. Druck Kettler, Bönen, S. 15 - 45.
- WYRWA, H. (1996): *Pädagogik, Konstruktivismus und kognitive Sicherheit. Zur kognitiven Autonomie in pluralistischen Gesellschaftssystemen. Entwurf einer konstruktivistischen Denkerziehung*. Verlag Mainz, Aachen.
- ZIMBARDO, P. G. (1992): *Psychologie*. Springer, Berlin.
- ZÖLLER, W. (1971): Biologische Oxidation gleich Verbrennung? *Mathematisch-Naturwissenschaftlicher-Unterricht* **24** (2), S. 111 - 113.
- ZWÖLFER, H. (1982): Energie als ökologischer Schlüsselfaktor. In: BÖHM, W. & SIMONIS, M. (Hrsg.): *Weltproblem Energie. Teil I. Staatliches Institut für Lehrerfort- und weiterbildung*. Bd. 50. Speyer, S. 52 - 68.

Anhang

| | | |
|-----|--|----|
| I | Handreichung zur Assoziationsbefragung | 2 |
| II | Liste der Oberbegriffe zur Kategorisierung der Assoziationen | 4 |
| III | Liste der von den Schülern genannten "naturwissenschaftlichen Fachbegriffe" zur Kategorisierung der Assoziationen | 5 |
| IV | Fragebögen A und B | 7 |
| V | Übersicht über die Kurzfassungen der Schülerantworten (KSA) zu den Fragebögen A und B | 16 |
| VI | Übersicht über die 91 Grundvorstellungen zum Themenbereich "Energie im biologischen Kontext" | 48 |
| VII | Kreuzmatrix der 91 Grundvorstellungen (GV) | 51 |

I Handreichung zur Assoziationsbefragung

Die Handreichung für die an der Untersuchung beteiligten Lehrkräfte zur Durchführung der Assoziationsbefragung wurde für die SI und SII altersgemäß, aber inhaltlich gleichartig formuliert. Die Aufgabenstellungen sind identisch. Nachfolgend ist die Version für die Oberstufe aufgeführt.

Blattvorderseite

Assoziationstest

(für die Sekundarstufe II)

Die kursiv gedruckten Erläuterungen bitte möglichst wörtlich vortragen.

Liebe Schülerinnen und Schüler des Kurses!

An der Universität Bielefeld wird versucht, Unterrichtsinhalte und -materialien auszuarbeiten, die den naturwissenschaftlichen Unterricht interessanter und leichter verständlich machen. Damit dieses Vorhaben gelingt, benötigt die Universität Ihre Mithilfe. Sie bittet Sie deshalb, bei der nun folgenden anonymen Befragung mitzumachen.

Zunächst einige wichtige Hinweise:

Die von Ihnen gegebenen Antworten haben nichts mit Ihrem Unterricht zu tun, Sie werden von keiner Lehrkraft der Schule eingesehen und können deshalb auch nicht zensiert werden.

Daher brauchen Sie auch keinen Namen anzugeben.

Für diese wissenschaftliche Untersuchung ist es unbedingt erforderlich, daß Sie sich nicht unterhalten und auch nicht vom Nachbarn abgucken. Es ist für die Auswertung dieser Befragung nämlich nur interessant, was Ihnen persönlich zu den Fragen eingefallen ist, nicht das, was Ihr Nachbar geschrieben hat.

Die nachfolgende Untersuchung besteht im wesentlichen aus zwei Fragen, bei denen Sie alle Worte aufschreiben sollen, die Ihnen zu bestimmten Begriffen einfallen. Es dürfen wirklich alle Worte genannt werden - es gibt keine „falschen“ Antworten! Für die Beantwortung der zwei Fragen haben Sie jeweils 4 Minuten Zeit. Bitte nutzen Sie diese Zeit voll aus.

Ich werde Sie bitten, während der Beantwortung zu einem bestimmten Zeitpunkt einen Gedankenstrich zu machen. Schreiben Sie dann bitte Ihr letztes Wort zu Ende, machen Sie dann einen Gedankenstrich, und arbeiten Sie danach weiter. Die Bearbeitungszeit ist also nach dem Setzen des Gedankenstrichs noch nicht vorbei!

Untersuchung:

Bitte nehmen Sie nun ein einzelnes leeres Blatt Papier und einen Stift zur Hand.

Ich werde Sie nun zunächst um sieben persönliche Angaben bitten. Schreiben Sie bitte nur die Antworten, nicht die Fragen unter 1. bis 7. oben auf Ihren Zettel.

BlattrückseiteSchülerangaben:

1. *Schule und Ort*
2. *Jahrgangstufe*
3. *Leistungskurse*
4. *Geschlecht*
5. *Alter*
6. *Nationalität*
7. *Haben Sie Interesse an Naturwissenschaften und Technik? Nur „ja“ oder „nein“ notieren.*

Die erste Untersuchungsfrage lautet:

Welche Worte fallen Ihnen zum Begriff „Energie“ ein ?

Hinweis für die Lehrkraft:

- Die Fragestellung bitte zweimal vorlesen.
- Alle Schülerinnen und Schüler sollen zum gleichen Zeitpunkt mit der Beantwortung beginnen.
- Nach 30 sec bitten Sie die Probanden, einen Gedankenstrich in ihrer Wortliste zu setzen. Vergewissern Sie sich danach bitte, ob alle Schülerinnen und Schüler nach dieser Unterbrechung weiter arbeiten.
- Assoziationsdauer: insgesamt 4 Minuten

Die zweite Untersuchungsfrage lautet:

Welche Worte fallen Ihnen ein, die zum Begriff „Energie“ und gleichzeitig zum Begriff "Biologie" passen?

Hinweis: Doppelnennungen aus Frage 1 sind, wenn Sie passen, erlaubt!

Hinweis für die Lehrkraft:

- Durchführung wie Test 1.

Zum Schluß sollen Sie bewerten, wie schwer oder leicht Ihnen das Beantworten der zwei Fragen gefallen ist. Benutzen Sie zur Bewertung bitte nur einen der drei folgenden Begriffe: leicht, mittel oder schwer.

Schreiben Sie bitte auf Ihren Zettel: Frage 1: und dahinter Ihre Bewertung, also leicht, mittel oder schwer und darunter Frage 2: und wieder Ihre Bewertung: leicht, mittel oder schwer.

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!!

Hinweis für die Lehrkraft:

Bitte sammeln Sie alle Assoziationsbögen ein und geben Sie sie zusammen mit dieser Erläuterung zum Test im Sekretariat ab.

Auch Ihnen herzlichen Dank für Ihre Bemühungen!!

II Liste der Oberbegriffe zur Kategorisierung der Assoziationen

| Nr. | Oberbegriff | Beispiele |
|-----|--|--|
| 1 | "Dinge" zur Nutzung alternativer Energien | <i>Windmühle, Staudamm, Solarzelle</i> |
| 2 | Arbeit | |
| 3 | Beleuchtungsmittel | <i>Lampe, Glühbirne</i> |
| 4 | Computer | |
| 5 | Elektrogeräte | <i>Herd, Fön, Rasenmäher</i> |
| 6 | Energieerzeugung / Energiegewinnung | |
| 7 | Energieformen | <i>Lageenergie, Bewegungsenergie, Bindungsenergie</i> |
| 8 | Energiesparen | |
| 9 | Energieumwandlung | |
| 10 | Energieverbrauch | |
| 11 | Energieverschwendung | |
| 12 | Fortbewegungsmittel | <i>Auto, Bus, Bahn, Fahrrad, Schiff</i> |
| 13 | Siedlung | <i>Städte, Dörfer, Haus, Gebäude</i> |
| 14 | Heizung, heizen | |
| 15 | Kälte | |
| 16 | Kraft / Power | |
| 17 | Kraftwerke | <i>Atomkraftwerk, Turbinen, Brennstäbe, Generator</i> |
| 18 | Ladung | <i>positive / negative Ladung</i> |
| 19 | Licht | |
| 20 | Magnet / Magnetismus | |
| 21 | Maßeinheiten / Messinstrumente | <i>Volt, Watt, Uhr, Stromzähler</i> |
| 22 | Musik / Instrumente | |
| 23 | Motoren/Maschinen/Fabrik/Industrie/Werkzeug | |
| 24 | Nahrungsmittel | <i>Obst, Brot</i> |
| 25 | Naturwissenschaften | <i>Physik, Chemie</i> |
| 26 | negativ "bewertende" Adjektive / Substantive | <i>gefährlich, Stromschlag, stärker als der Mensch</i> |
| 27 | Planeten | <i>Weltall, auch "Erde"</i> |
| 28 | positiv "bewertende" Adjektive / Substantive | <i>nützlich, gut, wertvoll, Luxus</i> |
| 29 | Primärenergieträger | <i>Kohle, Treibstoffe, Öle, Uran</i> |
| 30 | Reibung | |
| 31 | solar / Solarenergie | |
| 32 | Sonne | |
| 33 | Sonstiges | <i>z.B. Farben, Lehrer, Schule, finanzielle Aspekte, ...</i> |
| 34 | Sport, Sportarten | |
| 35 | Strom | |
| 36 | Stromkreis / elektrische Bauteile | <i>Draht, Steckdose, Schalter, Diode, Widerstand</i> |
| 37 | Stromspeicher | <i>Batterie, Akku, auch Energie speichern</i> |
| 38 | Tätigkeiten, Verben und Substantive | <i>Bewegung, schwimmen, wachsen, leben</i> |
| 39 | Technik | |
| 40 | Unterhaltungselektronik | <i>Radio, CD-Player</i> |
| 41 | Verbrennung, verbrennen | |
| 42 | Wärme, Hitze | |
| 43 | Wasser / Wasserenergie | |
| 44 | Wettererscheinungen | <i>Blitz, Regen, Schnee</i> |
| 45 | Wind/ Windenergie | |
| 46 | Zukunft | <i>auch Science Fiction</i> |
| 47 | Zustandsbeschreibungen des Menschen | <i>fit, krank, Tatkraft, Stress, Spaß, Freude, Ausdauer</i> |

III Liste der von den Schülern genannten „naturwissenschaftlichen Fachbegriffe“ zur Kategorisierung der Assoziationen

Teiltabelle 1

| | | |
|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| α -Amylase | Abfallprodukt | Abgabe |
| abiotische Faktoren | Absorption / Adsorption | Abwärme |
| Adern | ADP / ATP / AMP | Adrenalin |
| aerob / anaerob | Aggregate | Aktionspotential |
| aktiver Transport | Aktivierungsenergie | Aminosäuren |
| Anabolismus | Anion | Anode / Kathode |
| Anregung (Elektronen) | Antikörper /-produktion | Anziehung |
| Äpfelsäure | Apo-Enzyme | Aquarium, Terrarium |
| Assimilation | Atmung | Atmungskette |
| Atom | autotroph | Bakterienkulturen |
| Ballaststoffe | Balz | Bauchspeicheldrüse |
| Bindungsstärke | Biologie | Biomasse |
| Biorhythmus | Biosphäre | Blätter (grün) |
| Blattgrün(körner) | Blut | Blutkörperchen (rot/weiß) |
| Blutkreislauf, -druck | Blutplättchen | Blutzucker |
| Brenztraubensäure | Bunsenbrenner | Calvin-Zyklus |
| Calcium / Eisen | Carotine | Carrier(-transport) |
| chem. Elemente | chemische Reaktion | Chemosynthese |
| Chlorophyll (a, b) | Chloroplast | Cholesterin |
| Chromosomen | Citratzyklus | Co-Enzyme |
| Codon | Cytologie | Diffusion |
| Dissimilation | DNA / RNA | Dünger |
| $E = mc^2$ | Eisprung | Eiweiße |
| Eizelle | Elektrode | Elektrolyse |
| Elektronen | Elektronentransport /-fluß | Endo- / Exocytose |
| endoplasm. Reticulum | endo- / exotherm | Endoxidation |
| energie(un)abhängig | Energieerzeuger | Energiefluß |
| Energieniveau | energiereich /-arm | Energietransport |
| Energieüberträger | Energiehaushalt | Enthalpie |
| Entwicklung | Enzyme | Erdwärme |
| Eutrophierung | Evolution | Experimente / Versuche |
| FAD, FADH ₂ | Fauna | FCKW |
| Fette | Flora | Fluoreszenz |
| Fortpflanzung/Vermehrung | Freisetzung | Fruchtfleisch |
| Fruchtknoten | Furchung | Gärung(Milchsäuregärung) |
| Geburt | Gedächtnis | Gehirn |
| Gelenke | Gene | Genetik |
| Genotyp | Gentechnik | Gleichgewicht / Un- |
| Glycogen | Glycolyse | Gravitation |
| GTP / GMP / GDP | Hebelkraft | Herz / Herzschlag |
| heterotroph | Hormone | Hydroxylgruppe |
| Hyperpolarisation | Immunsystem | Impuls |
| Insulin | Ionen/-verbindung/-verteilung | Ionenpumpe |
| Isolierung | Isotop | Joule (Kilo-) |
| Kalorien | Kartoffelamyloplast | Katabolismus |
| Katalase | Katalysator / katalysieren | Kationen |
| Keim(-zelle) / keimen | Kernfusion | Knochen / Skelett |
| Kohlenstoffdioxid | Kohlenhydrate | Kohlenstoff |
| Konduktion | Konfiguration | Konsumenten |
| Körper(wärme/temperatur) | Kreislauf | Lebewesen |

Teiltabelle 2

| | | |
|--|----------------------------|------------------------------|
| Laser | Leber | Lipide |
| Leitfähigkeit | Licht-/Dunkelreaktion | Lutein |
| Luft | Lungen (-volumen) | Medizin |
| Magen | Materie / Rohstoffe | Membranpotential |
| Meiose | Melanin | Metamorphose |
| Menschen | Metabolismus | Mitochondrien |
| Mikroskop | Mineralien | Moleküle / Molekülketten |
| Mitose | Molekularbewegung | Mutation |
| motorische Bahnen | Muskel(n) / -kraft | NADPH + H ⁺ / NAD |
| Na ⁺ -K ⁺ -Pumpe | Nachwuchsbetreuung | Nahrungskette |
| Nährsalze | Nährstoffe | Nervenzellen |
| Natur / Umwelt | Naturgewalten | Neuron |
| Nervensystem | Neurit | Ökologie |
| Neurophysiologie | Neutronen | Organe |
| Ökosystem | Ontogenese | Osmose |
| organisch / anorganisch | Organismus | Ozon(loch) |
| Oxidation | oxidative Decarboxylierung | Phänotyp |
| Paarung | Pflanzen | Photophosphorylierung |
| Phosphate | Photolyse | Plasmalemma |
| Photosynthese | Plasma | Plutonium |
| Plasmolyse | Plastiden | Potential |
| Pol (+ / -) | Polarisation | Proteine |
| Produzent | Proteinbiosynthese | Puls |
| Protonen | Pubertät | Rassen |
| Quelle / Reserve | Radioaktivität | Redoxsystem/Redoxreaktion |
| Reaktionsgeschwindigkeit | Reaktionsketten | Reize |
| Reduktion | Reduzenten | Röntgen |
| Resourcen | Rezeptoren | Sauerstoff |
| Ruhepotential | Samen(zelle), Sperma | Schlüssel-Schloß-Prinzip |
| Sauerstoffverbrauch | Säure | sensorische Bahnen |
| Schweißdrüsen | Selektion | Soma |
| Siedepunkt | Sinneszellen | Speicher / Speicherung |
| Spaltungen | Speichel | Stickstoff |
| Spurenelemente | Stärke | Stoffwechselrate |
| Stoffwechsel | Stoffwechselphysiologie | Synapse |
| Strahlen / Strahlung | Symbiose | Temperatur |
| Synthese | Tiere | Transkription |
| Thermodynamik | Transmitter | Treibhauseffekt |
| Translation | Trisomie 21 | Turgor |
| Tricarbonsäure-Zyclus | Umweltverschmutzung | Uran |
| Umweltschutz | Verdauung | Verdunstung |
| Vakuole | Verhaltensbiologie | Verwesung |
| Vererbung | Wachstum / wachsen | Warmblüter |
| Vitamine | Wasserstoffbrücken | wechselwarm |
| Wasserstoff | Winterschlaf / Kältestarre | Xantophylle |
| Wellen(länge) | Zelle | Zellkern |
| Zellatmung | Zellteilung | Zellwand |
| Zellmembran | Zitronensäurezyklus | Zuckerarten |
| Zersetzung | | |

IV Fragebögen A und B

Die nachfolgenden acht Seiten zeigen die beiden Fragebögen A und B im Original.

Liebe Schülerinnen und Schüler,

A

der Schulunterricht in den Fächern Biologie, Chemie und Physik wird oftmals kritisiert. Einige stöhnen, diese Fächer seien zu schwer, andere meinen, die Unterrichtsinhalte seien zu langweilig. Das möchten wir ändern! Um den Unterricht verbessern zu können, benötigen wir jedoch zunächst Informationen, welche Vorstellungen und Ideen Ihr zu bestimmten Sachgebieten habt. Mit Hilfe dieses Fragebogens soll das herausgefunden werden.

Wichtig: Dieser Fragebogen ist kein Test, er wird nicht benotet. Keine Lehrkraft Deiner Schule wird Deine Antworten kontrollieren!

Versuche bitte, alle nachfolgenden Fragen so ausführlich wie möglich zu beantworten. Falsche Antworten gibt es nicht!! Gib bitte auch dann eine Antwort, wenn Du Dir nicht ganz sicher bist!

Sollte der Platz zum Beantworten der Fragen nicht ausreichen, so benutze bitte die Blattrückseite.

Für das Ausfüllen des Fragebogens hast Du 45 Minuten Zeit.

Zunächst benötigen wir folgende Angaben:

Schule, Datum:

Muttersprache:

Jahrgangstufe:

Alter:

Geschlecht:

Bist Du an Naturwissenschaften interessiert? Bitte nur „ja“ oder „nein“ antworten!! Nicht „jein“!:

Ab Klasse 9 beantworten!
Kurse im Differenzierungsunterricht
bzw. Leistungskurse angeben:



Noch einmal die Bitte: **Begründe Deine Antworten so genau wie möglich!**

1.

Wenn wir Hunger haben, essen wir etwas - das ist bekannt. Aber warum genau braucht unser Körper eigentlich Nahrungsmittel?

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

2.

Auf der Verpackung von Müsliriegeln steht, daß in ihnen viel Energie steckt. In welchen Bestandteilen der Riegel steckt für unseren Körper nutzbare Energie? Kreuze an!

- Fette Eiweiße (Proteine) Kohlenhydrate (Zucker) Wasser Vitamine
 Spurenelemente (z.B. Eisen, Calcium)

Beschreibe für einen Nahrungsbestandteil Deiner Wahl ganz genau, wo in ihm die für unseren Körper nutzbare Energie steckt.

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

3.

Beim Essen eines Schokoladenriegels „Mars“ hast Du ein wenig Energie zu Dir genommen. Der kleine Hunger ist gestillt. Was passiert in Deinem Körper mit der aufgenommenen Energie?

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

4.

Wenn man Sport treibt, wird einem schnell warm. Versuche möglichst genau zu erklären, woher diese Wärme stammt.

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)



5.

Versuche zu beschreiben, was Du Dir unter Energie vorstellst.

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

6.

Welchen Zusammenhang erkennst Du in der Reihenfolge der Worte „Sonne, Pflanzen, Tiere, Menschen, Wärme“, der mit Energie in Verbindung steht?

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

7.

Was hältst Du von der Aussage: Wenn man ganz still sitzt und eine Rechenaufgabe im Kopf löst, braucht man keine Energie, da man sich nicht bewegt? Begründe Deine Antwort ausführlich.

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)



8.

Löwen verhungern, wenn sie bei ihren Hetzjagden einige Male hintereinander nur kleine Beutetiere fangen konnten. Versuche, das zu erklären?

(Auf der nächsten Seite ist mehr Platz!)

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

9.

An heißen Sommertagen trinkt man mehr und isst weniger. Man trinkt mehr, weil man schwitzt. Aber warum isst man weniger?

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

10.

Salamander, Schildkröten und Insekten bewegen sich bei 15°C Außentemperatur langsamer als bei 30°C? Wie ist das zu erklären?

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

11.

Leben - Tod - Verwesung - Wärme - Energie - Ordnung
Versuche, mit diesen Wörtern einen kurzen zusammenhängenden Text zu schreiben.

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

Vielen Dank für' s Ausfüllen!



Liebe Schülerinnen und Schüler,

B

der Schulunterricht in den Fächern Biologie, Chemie und Physik wird oftmals kritisiert. Einige stöhnen, diese Fächer seien zu schwer, andere meinen, die Unterrichtsinhalte seien zu langweilig. Das möchten wir ändern! Um den Unterricht verbessern zu können, benötigen wir jedoch zunächst Informationen, welche Vorstellungen und Ideen Ihr zu bestimmten Sachgebieten habt. Mit Hilfe dieses Fragebogens soll das herausgefunden werden.

Wichtig: Dieser Fragebogen ist kein Test, er wird nicht benotet. Keine Lehrkraft Deiner Schule wird Deine Antworten kontrollieren!

Versuche bitte, alle nachfolgenden Fragen so ausführlich wie möglich zu beantworten. Falsche Antworten gibt es nicht!! Gib bitte auch dann eine Antwort, wenn Du Dir nicht ganz sicher bist!

Sollte der Platz zum Beantworten der Fragen nicht ausreichen, so benutze bitte die Blattrückseite.

Für das Ausfüllen des Fragebogens hast Du 45 Minuten Zeit.

Zunächst benötigen wir folgende Angaben:

Schule, Datum:

Muttersprache:

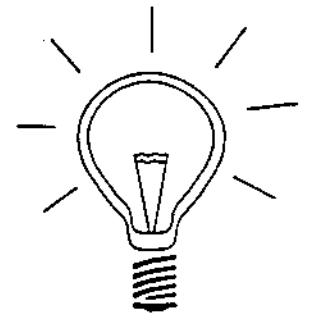
Jahrgangstufe:

Alter:

Geschlecht:

Bist Du an Naturwissenschaften interessiert? Bitte nur „ja“ oder „nein“ antworten!! Nicht „jein“!:

Ab Klasse 9 beantworten!
Kurse im Differenzierungsunterricht bzw. Leistungskurse angeben:



Noch einmal die Bitte: **Begründe Deine Antworten so genau wie möglich!**

1.

Der Körper und damit auch das Blut eines gesunden Menschen ist immer zwischen 36 °C und 37 °C warm. Versuche zu erklären, woher diese Wärme stammt?

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

2.

Ein Raubvogel mit einem Gewicht von 1 kg frißt in einem Jahr ungefähr 10 kg Mäuse. Diese 10 kg Mäuse fressen wiederum ca. 100 kg Getreidekörner. Ein Raubvogel nimmt also, wenn er Mäuse frißt, in einem Jahr die Energie auf, die in 100 kg Getreidekörnern steckt. Würde sich der Raubvogel direkt von Getreidekörnern ernähren, bräuchte er nur ca. 10 kg davon zu fressen. Die Energie von 90 kg Getreidekörnern könnten so gespart werden. Versuche, das zu erklären?

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

3.

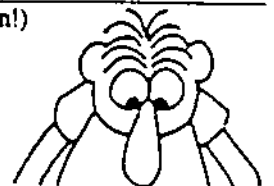
Versuche zu beschreiben, was Du Dir unter Energie vorstellst.

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

4.

Herabfallende Regentropfen besitzen eine bestimmte Menge Energie. Diese Bewegungsenergie kann man deutlich spüren, wenn Regentropfen auf unsere nackte Haut treffen. Was passiert mit der Bewegungsenergie der Regentropfen, wenn die Tropfen auf unsere Haut stoßen?

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)



5.

Energie, die man durch reichhaltiges Essen aufgenommen hat, aber nicht benötigt, speichert der Körper. Versuche genau zu erklären, wo und wie im Körper diese überschüssige Energie gespeichert wird.

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

6.

Wie gelangt die Energie aus der Nahrung in den Körper, z.B. in die Muskeln?



Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

7.

In Misthaufen leben viele Lebewesen, die den Abfall zu Humus umwandeln. Wenn man an trüben und kalten Wintertagen in einem solchen Misthaufen die Temperatur mißt, stellt man verduzt fest, daß es trotz der niedrigen Außentemperaturen im Innern sehr warm ist. Versuche genau und ausführlich zu erklären, woher diese Wärme stammt?

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

8.

Im Sommer laufen in unserer Haut bestimmte chemische Vorgänge ab, die zur Bräunung der Haut führen. Welche Aufgabe hat die Sonnenenergie bei der Braunfärbung der Haut? Erkläre bitte so ausführlich wie möglich!

(Auf der nächsten Seite ist mehr Platz!)

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

9.

Um Energie aufzunehmen, essen Menschen oft Pflanzen oder Teile von Pflanzen (z.B. Salat oder Getreidekörner in Brot). In Pflanzen ist also Energie enthalten. Pflanzen „essen“ aber nicht? Wie gelangt dennoch Energie in die Pflanzen?

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

10.

Quallen sind fast völlig durchsichtige Meerestiere. Sie schwimmen meist in den oberen Wasserschichten. Für ihre Bewegung benötigen sie Energie. Beschreibe, wo die Energie in den Tieren steckt.

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

11.

Leben - Tod - Verwesung - Wärme - Energie - Ordnung

Versuche, mit diesen Wörtern einen kurzen zusammenhängenden Text zu schreiben.

Zur Beantwortung dieser Frage mußte ich längere Zeit nicht lange überlegen. (Bitte ankreuzen!)

Vielen Dank für' s Ausfüllen!



V Übersicht über die Kurzfassungen der Schülerantworten (KSA) zu den Fragebögen A und B

Erläuterungen zur Tabelle:

In der nachfolgenden Tabelle können die Kurzfassungen der Schülerantworten (KSA) zu den beiden Fragebögen A und B sowie die Zuordnung der Kurzfassungen der Schülerantworten zu den Grundvorstellungen (vgl. Anhang VI) abgelesen werden.

Die Auftrittshäufigkeit der einzelnen Kurzfassungen der Schülerantworten ist jeweils für die Gesamtzahl der befragten Probanden eines Fragebogens und getrennt nach den Faktoren Geschlecht, Jahrgangstufe, Naturwissenschaftliches Interesse, Schul- und Lernumgebung, Schulform und Quantität des naturwissenschaftlichen Unterrichts aufgeführt. Zusätzlich können die Angaben bezüglich der Bearbeitungszeit der Fragen abgelesen werden.

Die Kurzfassungen der Schülerantworten sind nach ihrer Auftrittshäufigkeit geordnet.

Um die Äußerungen der Schüler möglichst wortgetreu abbilden zu können, sind die inhaltlich als synonym bewerteten Worte bzw. Formulierungen durch "/" getrennt. Verschiedene Aussagen mit ähnlichem Inhalt sind innerhalb einer Kurzfassung der Schülerantwort durch ";" getrennt.

| Code-Nr. der KSA | Code-Nr. der GV | A1 Wenn wir Hunger haben, essen wir etwas - das ist bekannt. Aber warum genau braucht unser Körper eigentlich Nahrungsmittel? | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SII | alle Nat-Intr. Ja | alle Nat-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SII mit LK Bio | alle SII ohne LK Bio |
|------------------|-----------------|---|------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|----------|-------------------|---------------------|----------|---------|---------|---------|---------------------|----------------------|
| | | Probandenzahl | 390 | 190 | 200 | 83 | 84 | 84 | 139 | 262 | 128 | 138 | 139 | 277 | 113 | 60 | 79 |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 20 | 9 | 11 | 5 | 0 | 8 | 7 | 10 | 10 | 5 | 4 | 9 | 11 | 2 | 5 |
| | | <u>längere Zeit</u> über die Frage nachgedacht | 43 | 18 | 25 | 16 | 12 | 7 | 8 | 25 | 18 | 17 | 17 | 34 | 9 | 3 | 5 |
| | | <u>nicht lange</u> über die Frage nachgedacht | 327 | 163 | 164 | 62 | 72 | 69 | 124 | 227 | 100 | 116 | 118 | 234 | 93 | 55 | 69 |
| | | Frage nicht beantwortet | 5 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 0 | 2 | 3 | 0 | 1 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 8 | 4 | 4 | 6 | 0 | 0 | 2 | 5 | 3 | 5 | 3 | 8 | 0 | 1 | 1 |
| 9 | 1,91 | um Energie aus Nahrung zu gewinnen, aufzubauen, zu produzieren; Nahrung oder Essen wird in Energie gewandelt bzw. wandelt sich in Energie um; Nahrung wird durch Verdauung in Energie umgewandelt; Nahrung wird zu Energie gespalten | 94 | 39 | 55 | 6 | 13 | 17 | 58 | 67 | 27 | 42 | 35 | 77 | 17 | 26 | 32 |
| 3 | 2,13 | in Nahrung/Nährstoffen steckt/ist Energie; durch Essen bekommen/sammeln wir Energie/nehmen Energie auf; um verbrauchte Energie auszugleichen; in Nahrung stecken Energie-Träger/Energie-Lieferanten; Nahrung dient der Energie-Versorgung | 85 | 43 | 42 | 15 | 9 | 19 | 42 | 53 | 32 | 42 | 28 | 70 | 15 | 18 | 24 |
| 14 | 3,91 | um Energie zum Verbrauchen zu haben; Mensch verbraucht Energie für Tätigkeiten/um etwas zu leisten; Körper verbraucht Energie; Körper verbraucht Energie zum Arbeiten; Mensch verbraucht Energie | 31 | 13 | 18 | 1 | 14 | 3 | 13 | 26 | 5 | 11 | 14 | 25 | 6 | 7 | 6 |
| 18 | 4 | Körper benötigt Energie | 22 | 9 | 13 | 0 | 3 | 15 | 4 | 12 | 10 | 5 | 6 | 11 | 11 | 2 | 2 |
| 5 | 5,7,4 | ohne Energie keine Bewegung; Leben/Körper braucht Energie zur Bewegung | 9 | 4 | 5 | 4 | 0 | 1 | 4 | 7 | 2 | 1 | 1 | 2 | 7 | 0 | 4 |
| 21 | 6 | Energie wird verbrannt | 8 | 3 | 5 | 0 | 2 | 5 | 1 | 5 | 3 | 4 | 3 | 7 | 1 | 0 | 1 |
| 33 | 5,7 | Energie wird aus Nahrung rausgeprokelt; Energie wird aus einigen Stoffen der Nahrung herausgefiltert/herausgebrochen | 6 | 3 | 3 | 0 | 3 | 3 | 0 | 5 | 1 | 1 | 4 | 5 | 1 | 0 | 0 |
| 34 | 1,8,91 | durch Verbrennung von Nahrung entsteht Energie/wird Energie erzeugt | 6 | 4 | 2 | 0 | 1 | 4 | 1 | 6 | 0 | 3 | 2 | 5 | 1 | 0 | 1 |
| 6 | 9 | Nahrung ist Energie | 4 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| 8 | 1,13 | Körper kann alleine (ohne aufgenommene Nahrung) keine Energie herstellen | 3 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 22 | 10,11,13 | Energie der Nahrung wird in brauchbare, körpereigene/nutzbare Energie umgewandelt | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 16 | 1,91 | um mit Hilfe von Glycolyse/Tricarbonsäurezyklus/Endoxidation (im Körper) Energie zu gewinnen/aufzubauen | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 23 | 2 | Kohlenhydrate/Eiweiße/Fette speichern Energie | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| 24 | 12 | Kohlenhydrat/Zucker/Glucose wird in ATP umgewandelt | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 31 | 2,13 | durch Nahrung wird Energie in Form von Fetten/ Kohlenhydraten aufgenommen | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| 35 | 10,13 | Energie (der Nahrung) wird in Wärmeenergie und Bewegungsenergie umgewandelt | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 37 | 10,13 | damit Bewegungsenergie zustandekommt/erzeugt wird | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 4 | Maschinen im Körper können ohne Energie nicht arbeiten; Körper wie Maschine, die Energie braucht | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 19 | 2,23 | Stärke ist Energieüberträger und gibt Energie im Körper ab | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 20 | 22 | Energieüberträger ATP wird gebildet | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|--|------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|---------|-------------------|---------------------|----------|---------|---------|---------|--------------------|---------------------|---|
| 25 | 13,45 | Körper verliert ständig Energie in Form von Wärme an die Umgebung > Nahrung zum Ausgleichen | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 26 | 3,10,11 | in Nahrung enthaltene Energie wird umgewandelt, um sie für das Leben dann aufbrauchen zu können | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 27 | 14 | Vitamine sind energiereiche Stoffe | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 28 | 5,7 | Energie wird von Enzymen extrahiert und dann weiterverarbeitet | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 30 | 2,4 | Mensch kann nur durch Dissimilation leben > wandelt energiereiche Stoffe in energiearme Stoffe um | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 32 | 15 | Energie kann gespeichert werden | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 36 | 10 | Körper wandelt eine Energieform in eine andere um | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 38 | 13 | wenn zu wenig gegessen wird, kann der Körper keine Energie abgeben | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 42 | 12 | Nahrung wird durch Enzyme in Energie umgewandelt | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 43 | 4 | Energie wird für Reizübertragung gebraucht | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 44 | 16 | gesunde Nahrung hat viel Energie | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Code-Nr. der KSA | Code-Nr. der GV | A2 Beschreibe für einen Nahrungsbestandteil Deiner Wahl ganz genau, wo in ihm die für unseren Körper nutzbare Energie steckt. | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SH | alle Nat-Intr. Ja | alle Nat-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SH mit LK Bio | alle SH ohne LK Bio | |
| | | Probandenanzahl | 390 | 190 | 200 | 83 | 84 | 84 | 139 | 262 | 128 | 138 | 139 | 277 | 113 | 60 | 79 | |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 62 | 34 | 28 | 15 | 9 | 20 | 18 | 44 | 18 | 19 | 21 | 40 | 22 | 10 | 8 | |
| | | <u>längere Zeit</u> über die Frage nachgedacht | 159 | 59 | 100 | 35 | 39 | 32 | 53 | 99 | 60 | 60 | 61 | 121 | 38 | 21 | 32 | |
| | | <u>nicht lange</u> über die Frage nachgedacht | 169 | 97 | 72 | 33 | 36 | 32 | 68 | 119 | 50 | 59 | 57 | 116 | 53 | 29 | 39 | |
| | | Frage nicht beantwortet | 99 | 49 | 50 | 25 | 25 | 28 | 21 | 60 | 39 | 26 | 40 | 66 | 33 | 9 | 12 | |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 86 | 46 | 40 | 18 | 14 | 21 | 33 | 60 | 26 | 32 | 42 | 74 | 12 | 11 | 22 | |
| 2 | 17 | Wort "Vitamin" wird genannt; Vitamine sind wichtig/wichtig für Lebensfunktionen | 64 | 28 | 36 | 20 | 19 | 18 | 7 | 41 | 23 | 16 | 14 | 30 | 34 | 1 | 6 | |
| 18 | 8,1,91 | durch Verbrennung von Zucker/Kohlenhydraten/Proteinen/Fett wird Energie gewonnen/entsteht Energie/erzeugt der Körper Energie | 19 | 10 | 9 | 0 | 8 | 4 | 7 | 16 | 3 | 7 | 8 | 15 | 4 | 3 | 4 | |
| 5 | 2 | in Kohlenhydraten/Zucker ist/steckt viel Energie; Traubenzucker/Fruktzucker liefert Energie | 21 | 9 | 12 | 3 | 1 | 2 | 15 | 13 | 8 | 7 | 5 | 12 | 9 | 5 | 10 | |
| 8 | 18 | Spurenelemente (bzw. konkreter Stoff, z.B. Calcium) wird genannt (in sind Spurenelemente) | 15 | 8 | 7 | 4 | 5 | 3 | 3 | 7 | 8 | 4 | 5 | 9 | 6 | 0 | 3 | |
| 26 | 12 | Zucker/Kohlenhydrate/Fette werden in Energie umgewandelt | 14 | 5 | 9 | 0 | 2 | 3 | 9 | 9 | 5 | 8 | 6 | 14 | 0 | 6 | 3 | |
| 11 | 15,19 | in Obst/Gemüse ist Energie unter der Schale | 11 | 7 | 4 | 8 | 2 | 1 | 0 | 9 | 2 | 8 | 1 | 9 | 2 | 0 | 0 | |
| 3 | 20,9 | Vitamine sind Energie; Vitamine sind eigentlich Energie; Vitamine sind sofort für den Körper als Energie zugänglich | 9 | 1 | 8 | 4 | 1 | 3 | 1 | 7 | 2 | 5 | 1 | 6 | 3 | 1 | 0 | |
| 20 | 21 | Kohlenhydrate sind für die ATP-Bildung nötig/werden für die ATP-Bildung genutzt; durch Kohlenhydrate wird ADP in ATP umgewandelt | 9 | 3 | 6 | 0 | 0 | 0 | 9 | 8 | 1 | 6 | 3 | 9 | 0 | 8 | 1 | |
| 9 | 2 | Fette geben dem Körper viel Energie (in der Milch steckt im Fett Energie) | 8 | 5 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 6 | 2 | 4 | 3 | 7 | 1 | 0 | 2 | |
| 34 | 15,24 | Energie sitzt (gespeichert) in den Bindungen zwischen den Atomen/in chemischen Bindungen gespeichert | 6 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 6 | 5 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 2 | 4 | |
| 39 | 2 | in Proteinen ist viel Energie | 6 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 0 | 3 | 3 | 0 | 1 | 1 | 5 | 0 | 0 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14 | 91,1 | Kohlenhydrat/Zucker wird zur Energieerzeugung benötigt/aus (genanntem Stoff) wird Energie gewonnen | 5 | 1 | 4 | 0 | 1 | 1 | 3 | 4 | 1 | 2 | 2 | 4 | 1 | 1 | 2 |
| 16 | 12,1 | aus Zucker/Kohlenhydraten/Fett wird im Körper (chemische) Energie in Form von ATP gebildet | 5 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 |
| 23 | 21 | bei der Glycolyse/Zerlegung von Zucker (Umwandlung von C6 zu C3 / C1-Körper) wird ATP (Energieträger) gebildet | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 3 | 1 |
| 12 | 2 | in Stärke steckt Energie/ist Energie viel gespeichert | 3 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 21 | 15,22 | ATP liefert für Körper nutzbare Energie/ ATP ist energiereiche Verbindung/ ATP gewährleistet Energie | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 | 2 | 1 |
| 1 | 16 | Vitamine, Eisen sind Gesundes > dadurch Energie; Vitamine sind gesund und geben deshalb Energie | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 22,23,15 | C des Zuckers wird oxidiert und freiwerdende Energie auf ATP übertragen | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| 37 | 9 | ATP ist Energie | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| 42 | 19 | Energie ist in bestimmten Stoffen (von Dextro Energen); beim Müsliriegel nur im Müsli, nicht in der Schokolade | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 54 | 19 | in den Kernen von Brot; im Inneren von Vollkorn | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 6 | 9 | Nährstoffe sind Energie | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 19 | im Ei ist im Eiweiß Energie | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 91 | bei Prozessen (z.B. Glycolyse) wird Energie erzeugt | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 15 | 2 | in den Molekülen | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 17 | 2 | Zucker ist Energieträger | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 19 | 18,25 | in Spurenelementen sind Ionen, die sich im Körper mit anderen Elementen verbinden und dabei Energie freisetzen | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 24 | 19,2 | Energie steckt in Bindestoffen | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 25 | 91 | Energie wird in Form von ATP "aufgebaut" | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 27 | 2 | Fette sind Hauptenergielieferanten | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 28 | 12 | Proteine werden in Teilchen zersetzt, und diese Teilchen werden in Energie umgewandelt | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 29 | 22 | in Kohlenhydraten steckt ATP als eine Form „chemischer Energie“ | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 30 | 25 | bei der Zerlegung von Fett in Fettsäure und Glycerin wird Energie frei | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 31 | 2 | in Proteinen ist Energie, weil sie durch Enzyme verarbeitet werden und brauchbare Stoffe an Zellen weitergeben | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 32 | 1,91 | durch das Spalten von Aminosäureketten entsteht Energie | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 33 | 12 | Phosphatgruppe wird in ATP umgewandelt | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 35 | 2 | Fette müssen chemisch abgebaut werden, um als Energiequelle zu dienen | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 36 | 25 | Glucose wird abgebaut > Energie wird frei | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 38 | 12 | Kohlenhydrate werden durch die Bauchspeicheldrüse in Energie verwandelt | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 2 | in Kohlenhydraten steckt Energie aus Photosynthese in umgewandelter Form | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 41 | 2 | die Teile, die von Fetten durch Enzyme abgespalten werden, sind Energielieferanten | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 43 | 7,5 | Fette bestehen aus kleinen "Fettteilchen", aus denen der Körper Energie zieht | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 44 | 1,91 | durch Zersetzen von Zucker/Kohlenhydraten gewinnt der Körper Energie | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 45 | 10 | durch Verbrennung der Kohlenhydrate wird Energie in Wärme umgewandelt | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 46 | 26 | Energie kann nie verloren gehen | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|--|------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|---------|-------------------|---------------------|----------|---------|---------|---------|--------------------|---------------------|
| 47 | 10,2 | Körper kann Energie von Eiweiß in Wärme- und Bewegungsenergie umwandeln (besonders in Herz, Lunge, Muskel) | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 48 | 2,90 | die Energie steckt im Wasser, da es Körper kühlt und vor Überhitzung schützt | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 49 | 16,91 | das Magnesium in Bananen stärkt Organe > durch diese Kraft kann Energie zum Leben entstehen | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 50 | # | Fette werden durch Mitochondrien verbrannt, dadurch entsteht ATP | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 51 | 27 | in der Faltblattstruktur von Proteinen | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 53 | 27 | in der Ringstruktur der Kohlenhydrate steckt Energie | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 55 | 28 | überall (z.B. im Müsliriegel) | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | | Daten aus dem Ankreuzteil der Frage A2 | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SH | alle Nat-Intr.-Ja | alle Nat-Intr.-Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SH mit LK Bio | alle SH ohne LK Bio |
| | | Fette | 186 | 95 | 91 | 22 | 27 | 50 | 87 | 135 | 51 | 84 | 62 | 146 | 40 | 45 | 42 |
| | | Eiweiße (Proteine) | 271 | 145 | 126 | 60 | 54 | 57 | 100 | 182 | 89 | 91 | 102 | 193 | 78 | 39 | 61 |
| | | Kohlenhydrate | 307 | 155 | 152 | 43 | 58 | 74 | 132 | 217 | 90 | 113 | 119 | 232 | 75 | 58 | 74 |
| | | Wasser | 51 | 34 | 17 | 12 | 15 | 16 | 8 | 32 | 19 | 16 | 14 | 30 | 21 | 2 | 6 |
| | | Vitamine | 221 | 112 | 109 | 73 | 61 | 45 | 42 | 145 | 76 | 58 | 78 | 136 | 85 | 12 | 30 |
| | | Spurenelemente (z.B. Eisen, Calcium) | 204 | 100 | 104 | 62 | 55 | 47 | 40 | 129 | 75 | 59 | 73 | 132 | 72 | 13 | 27 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Code-Nr. der KSA | Code-Nr. der GV | A3 Beim Essen eines Schokoladenriegels "Mars" hast Du ein wenig Energie zu Dir genommen. Der kleine Hunger ist gestillt. Was passiert in Deinem Körper mit der aufgenommenen Energie? | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SH | alle Nat-Intr.-Ja | alle Nat-Intr.-Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SH mit LK Bio | alle SH ohne LK Bio |
| | | Probandenanzahl | 336 | 190 | 200 | 83 | 84 | 84 | 139 | 262 | 128 | 138 | 139 | 277 | 113 | 60 | 79 |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 1 | 22 | 33 | 12 | 7 | 14 | 22 | 34 | 21 | 15 | 18 | 33 | 22 | 9 | 13 |
| | | <u>längere Zeit</u> über die Frage nachgedacht | 93 | 40 | 53 | 27 | 21 | 20 | 25 | 60 | 33 | 34 | 35 | 69 | 24 | 9 | 16 |
| | | <u>nicht lange</u> über die Frage nachgedacht | 242 | 128 | 114 | 44 | 56 | 50 | 92 | 168 | 74 | 89 | 86 | 175 | 67 | 42 | 50 |
| | | Frage nicht beantwortet | 50 | 22 | 28 | 17 | 14 | 6 | 13 | 26 | 24 | 8 | 17 | 25 | 25 | 5 | 8 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 35 | 22 | 13 | 12 | 6 | 7 | 10 | 28 | 7 | 18 | 10 | 28 | 7 | 6 | 4 |
| 7 | 91,3,4 | Energie wird verbraucht (z.B. für Bewegung) /abgebaut/verarbeitet/benutzt (ohne Ortsangabe) | 109 | 57 | 52 | 17 | 22 | 29 | 41 | 63 | 46 | 36 | 39 | 75 | 34 | 13 | 28 |
| 4 | 15 | (ein Teil der) Energie wird gelagert/gespeichert (in Fett) bis sie gebraucht wird | 67 | 32 | 35 | 4 | 9 | 21 | 33 | 42 | 25 | 30 | 24 | 54 | 13 | 16 | 17 |
| 8 | 29,82,4,19 | Energie wird zu Zellen/Organen/Körperteilen (Arme, Beine, Kopf) transportiert; Energie wird im Körper verteilt, wo sie gebraucht wird (Schwerpunkt der Antwort liegt bei Ortsangabe der späteren "Verwertung") | 27 | 13 | 14 | 8 | 7 | 6 | 6 | 22 | 5 | 8 | 11 | 19 | 8 | 3 | 3 |
| 9 | 29 | Energie wird ins/durchs Blut aufgenommen/gelangt zu den Blutplättchen (und wird weitergeleitet) | 23 | 11 | 12 | 7 | 7 | 1 | 8 | 16 | 7 | 8 | 9 | 17 | 6 | 1 | 7 |
| 39 | 6 | Energie wird verbrannt (von Muskeln/im Magen/für Stoffwechselfvorgänge/für Körpertemperatur) | 22 | 6 | 16 | 0 | 8 | 8 | 6 | 13 | 9 | 11 | 6 | 17 | 5 | 4 | 2 |
| 24 | 10 | Energie wird (in Zellen/im Magen) umgewandelt/umgesetzt in Bewegung/Bewungsenergie | 23 | 14 | 9 | 0 | 5 | 5 | 13 | 15 | 8 | 10 | 8 | 18 | 5 | 4 | 9 |
| 35 | 5 | Energie wird (durch enzymatische Spaltung) in Bestandteile/ Stoffe gespalten; Energie wird in Einzelteile zerlegt /in Vitamine, Eisen usw. geteilt | 10 | 4 | 6 | 1 | 1 | 5 | 3 | 8 | 2 | 4 | 0 | 4 | 6 | 1 | 2 |
| 53 | 5 | Energie wird vom Körper bearbeitet/verarbeitet | 10 | 4 | 6 | 2 | 5 | 0 | 3 | 8 | 2 | 3 | 2 | 5 | 5 | 1 | 2 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 1,12,91 | wichtige (energiereiche) Sachen/Stoffe werden entzogen > daraus wird/entsteht/ kommt Energie /die aufgenommenen Stoffe (Zucker) werden in Energie umgewandelt | 9 | 4 | 5 | 1 | 1 | 0 | 7 | 6 | 3 | 2 | 7 | 9 | 0 | 1 | 6 |
| 13 | 1 | Zucker/Kohlenhydrate werden verarbeitet/verbrannt/abgebaut, dadurch enthält man Energie | 9 | 3 | 6 | 1 | 1 | 2 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 8 | 1 | 2 | 3 |
| 33 | 12 | Nahrungsmittel werden in Energie umgewandelt/in Bewegungsenergie/Wärmeenergie umgewandelt | 8 | 3 | 5 | 0 | 2 | 4 | 2 | 6 | 2 | 6 | 1 | 7 | 1 | 2 | 0 |
| 1 | 37 | Energie gibt Kraft/belebt den Körper/ macht Körper leistungsfähiger | 7 | 0 | 7 | 2 | 2 | 3 | 0 | 5 | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 0 | 0 |
| 10 | 11,13 | Rest der aufgenommenen Energie wird ausgeschieden; nicht brauchbare Energie geht weg | 5 | 4 | 1 | 1 | 3 | 1 | 0 | 3 | 2 | 1 | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 5,7 | Energie wird irgendwie aus Eiweiß herausgelöst; Energie wird aussortiert; Magen filtert Energie aus dem Riegel; Energie wird aus der Nahrung gezogen | 8 | 5 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 5 | 3 | 2 | 6 | 8 | 0 | 0 | 2 |
| 54 | 91 | Energie wird schnell verbraucht, da wenig vorhanden; Energie geht schnell verloren | 5 | 1 | 4 | 0 | 3 | 2 | 0 | 2 | 3 | 3 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 |
| 37 | 10,11,13,2 | Energie der Nahrung ist für Körper nicht sofort zugänglich, muss erst zu Stoffen umgewandelt werden, die der Körper nutzen kann; Energie aus Nahrung wird nutzbar gemacht | 4 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 5 | 4,8,2,29 | Energie gelangt ins Gehirn, damit alles richtig läuft/so dass man besser denken kann | 3 | 0 | 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 1 |
| 15 | 10,30 | Energie wird in Kohlenhydrate/Fett umgewandelt | 3 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 18 | 10,81 | Energie wird zu Kraft verarbeitet/umgesetzt | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 32 | 2 | Hauptanteil der für den Körper verwertbaren Energie steckt im (Vielfach-)Zucker; Körper nimmt Energie in Form von Kohlenhydraten auf | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 40 | 4,13 | durch die aufgenommene Energie wird die Körpertemperatur aufrecht erhalten | 3 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 42 | 4 | Energie wird nicht gespeichert, sondern gleich verwendet | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 |
| 45 | 10 | Energie wird in Wärme umgesetzt/umgewandelt | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 3 | 0 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 0 |
| 19 | 16,17 | in Mars ist keine/kaum Energie, da Zucker Vitamine u. Mineralstoffe vernichtet | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 21 | 4,13 | mit der aufgenommenen Energie wird aus ADP ATP gebildet /wird ATP hergestellt | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 |
| 23 | 15 | dauerhafte Energiespeicher ist Fett | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 |
| 34 | 12,22 | aus Zucker/Kohlenhydraten wird im Körper Energie in Form von ATP gebildet | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 1 | 3 | 1 | 4 | 0 | 4 | 0 |
| 46 | 9 | Energie ist ATP | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 49 | 91,3,2 | um verbrauchte Energie auszugleichen/zu ersetzen; Nahrung, um Körper wieder mit Energie aufzuladen | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 16 | 5 | Energie besteht (hauptsächlich) aus Zucker | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 11,15 | nicht brauchbare Energie sammelt sich als Fett an | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 15,22,24 | Energie ist in Bindungen von ATP gespeichert | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 25 | 25 | Energie wird benutzt, um mehr Energie freizusetzen | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 27 | 9 | ATP ist Energie, die der Körper nutzen kann | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 28 | 21,23 | Energie wird durch Verbrennungsprozesse auf Energieträger ATP übertragen | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|---|------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|---------|-------------------|---------------------|----------|---------|---------|---------|--------------------|---------------------|
| 29 | 10,30 | Energie wird in ATP umgewandelt | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 30 | 1,91 | durch Prozesse in den Mitochondrien entsteht Energie | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 31 | 91 | Energie wird in Form von ATP "aufgebaut" | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 36 | 15,22 | Energie wird in ATP gespeichert | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 41 | 4 | Organe benutzen Energie, um ihre Aufgaben zu erfüllen | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 44 | 25 | Energie wird durch Spaltung freigesetzt | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 47 | 31 | Energie ist für den Abbau der Nährstoffe zuständig | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 48 | 31 | durch Marsenergie werden im Körper Reaktionen gestartet, die die Energie in uns hineinsprengen | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 51 | 9 | Zucker ist Form von Energie | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 55 | 4 | Energie wird für Verdauung benutzt | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 56 | 29 | Nahrung wird verdaut, die Energie bleibt im Körper und verteilt sich | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 58 | 10 | Körper kann aufgenommene Energie in andere Energieform umwandeln | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 59 | 26 | Energie wird nicht verbraucht | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 60 | 13 | Energie wird aufgenommen und kommt hinten wieder raus | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 61 | 11,15 | Körper sortiert nach Energiesorten, überschüssige Energie wird gespeichert | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 62 | 32 | Mars gibt Körper kaum Energie, da es sofort verbraucht wird | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 63 | 2 | Zucker = Energielieferant | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Code-Nr. der KSA | Code-Nr. der GV | A4 Wenn man Sport treibt, wird einem schnell warm. Versuche möglichst genau zu erklären, woher diese Wärme stammt. | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SH | alle Nat-Intr. Ja | alle Nat-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SH mit LK Bio | alle SH ohne LK Bio |
| | | Probandenanzahl | 343 | 190 | 200 | 83 | 84 | 84 | 139 | 262 | 128 | 138 | 139 | 277 | 113 | 60 | 79 |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 2 | 27 | 22 | 14 | 5 | 18 | 12 | 31 | 18 | 10 | 17 | 27 | 22 | 2 | 10 |
| | | <u>längere Zeit</u> über die Frage nachgedacht | 97 | 37 | 60 | 21 | 23 | 19 | 34 | 54 | 43 | 34 | 38 | 72 | 25 | 15 | 19 |
| | | <u>nicht lange</u> über die Frage nachgedacht | 244 | 126 | 118 | 48 | 56 | 47 | 93 | 177 | 67 | 94 | 84 | 178 | 66 | 43 | 50 |
| | | Frage nicht beantwortet | 44 | 30 | 14 | 14 | 10 | 14 | 6 | 24 | 20 | 10 | 19 | 29 | 15 | 0 | 6 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 28 | 11 | 17 | 15 | 1 | 1 | 11 | 15 | 13 | 15 | 10 | 25 | 3 | 3 | 8 |
| 1 | 75 | durch Bewegung/Arbeiten und Bewegen des Körpers entsteht Wärme | 68 | 29 | 39 | 22 | 15 | 20 | 11 | 40 | 28 | 15 | 20 | 35 | 33 | 2 | 9 |
| 2 | 35,43 | Körper verbrennt Zucker/Kohlenhydrate/Fett/Kalorien/Teile der Nahrung/Nährstoffe > Wärme | 52 | 31 | 21 | 2 | 15 | 14 | 21 | 34 | 18 | 17 | 25 | 42 | 10 | 8 | 13 |
| 10 | 6,43 | Energie wird verheizt/verbrannt > Wärme | 29 | 13 | 16 | 4 | 10 | 2 | 13 | 18 | 11 | 8 | 13 | 21 | 8 | 5 | 8 |
| 9 | 3,4,91 | beim Laufen/Bewegen verliert/verbraucht man (viel) Energie (Energie-Reserven); Energie wird dabei abgebaut | 24 | 12 | 12 | 1 | 10 | 0 | 13 | 16 | 8 | 6 | 14 | 20 | 4 | 4 | 9 |
| 5 | 55 | durch Reibung (der Muskeln/Gelenke/Organe/der einzelnen Teilchen/Blut in Adern) | 18 | 13 | 5 | 2 | 0 | 2 | 14 | 17 | 1 | 7 | 5 | 12 | 6 | 10 | 4 |
| 19 | 33,91,43 | beim Energieverbrauch/Energiegewinn/Energieerzeugung wird Wärme frei (,die abgeben wird) | 16 | 9 | 7 | 1 | 4 | 3 | 8 | 12 | 4 | 10 | 3 | 13 | 3 | 5 | 3 |
| 7 | 75 | Muskeln werden durch Bewegung/Anstrengung warm | 8 | 3 | 5 | 5 | 1 | 0 | 2 | 6 | 2 | 1 | 4 | 5 | 3 | 1 | 1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 53,2,43 | beim Abbau energiereicher Stoffe/Nutzung von Energie aus Bindungen (Zellatmung/Stoffwechsel) wird Energie frei, die jedoch nicht immer ganz genutzt werden kann, so daß Wärme frei wird (60%) | 6 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 6 | 6 | 0 | 3 | 1 | 4 | 2 | 3 | 3 |
| 16 | 1,91,43 | Stoffe werden in Energie umgesetzt/umgewandelt > dabei entsteht Wärme | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 18 | 53,22,43 | ein Teil der in ATP steckenden Energie geht beim Verbrauch/Umwandeln von ADP+P zu ATP in Wärme verloren | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 |
| 22 | 13,75 | bei körperlicher Betätigung wird Energie in Form von Wärme abgegeben | 3 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 |
| 29 | 10 | Bewegungsenergie wird in Wärmeenergie umgewandelt | 3 | 0 | 3 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 32 | 33,43,10 | bei Energieumwandlung wird Wärme (und Kraft) frei | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 6 | 25 | Wärme stammt von der freiwerdenden Energie | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| 15 | 8,33,1,91,43 | bei der Verbrennung energiereicher Stoffe entsteht vom Körper nutzbare Energie, ein Großteil wird in Wärme (als Abfallprodukt) abgegeben | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| 27 | 5,3 | mehr Energie als sonst abgebaut | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 28 | 10,15 | aufgenommene und gespeicherte Energie in Leistung umgesetzt | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 43 | 3,75 | bei Energieverlust durch Bewegung bekommt der Körper immer mehr Wärme | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 20 | 11,53 | nicht gebrauchte Energie bei ATP-Umwandlung erscheint in Form von Wärme | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 23 | 34 | Stoffwechselfvorgänge werden durch Wärme beschleunigt | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 24 | 1 | Fett wird in Wärmeenergie umgewandelt | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 25 | 4 | Körper überhitzt, weil nicht so schnell wie nötig Energie nachgeliefert werden kann | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 35 | 3,13 | Energie wird verloren, die man zurückholen muss | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 36 | 53,1,91,43 | Muskeln erzeugen 30% Bewegungsenergie, Rest geht als Wärme verloren | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 38 | 4 | durch Anstrengung, viel Energie zu bekommen, entsteht Wärme | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 39 | 10,26 | Energie kann nicht verloren gehen - wird nur umgewandelt | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 40 | 5 | Wärme stammt aus dem Kopf, weil der befiehlt, Energie auszupumpen | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 42 | 65 | von der Sonne | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

| Code-Nr. der KSA | Code-Nr. der GV | A5/B3 Versuche zu beschreiben, was Du Dir unter Energie vorstellst. | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SII | alle Nat-Intr. Ja | alle Nat-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SII mit LK Bio | alle SII ohne LK Bio |
|------------------|-----------------|---|-----------------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|----------|-------------------|---------------------|----------|---------|---------|---------|---------------------|----------------------|
| | | | Probandenanzahl | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 49 | 25 | 24 | 8 | 5 | 17 | 19 | 29 | 20 | 14 | 16 | 30 | 19 | 5 | 14 |
| | | <u>längere Zeit</u> über die Frage nachgedacht | 90 | 35 | 55 | 12 | 24 | 18 | 36 | 56 | 34 | 32 | 40 | 72 | 18 | 15 | 21 |
| | | <u>nicht lange</u> über die Frage nachgedacht | 251 | 130 | 121 | 63 | 55 | 49 | 84 | 177 | 74 | 92 | 83 | 175 | 76 | 40 | 44 |
| | | Frage nicht beantwortet | 27 | 15 | 12 | 5 | 2 | 11 | 9 | 16 | 11 | 3 | 6 | 9 | 18 | 3 | 6 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 17 | 12 | 5 | 4 | 1 | 3 | 9 | 10 | 7 | 7 | 7 | 14 | 3 | 3 | 6 |
| 1 | 37 | Kraft, Stärke, Power, Fitness, Schwung, Ausdauer, neue Kraft, Kraft des Körpers, macht Körper kräftig, ermöglicht Denken, treibt an, Schnelligkeit, Mut, Lebenskraft, Leben, hält gesund, man kann was tun/bewirken/bewegen | 90 | 28 | 62 | 34 | 26 | 7 | 23 | 57 | 33 | 27 | 29 | 56 | 34 | 6 | 17 |
| 10 | 37 | was der Mensch/Organismus braucht, was Organismen/den Menschen am Leben/in Schwung erhält; ohne Energie kein Leben; Grundbaustein des Lebens | 63 | 17 | 46 | 5 | 17 | 15 | 26 | 34 | 29 | 29 | 15 | 44 | 19 | 15 | 11 |
| 2 | 5 | Energie ist eine Flüssigkeit, die wie Kraftstoff (Benzin/Diesel) antreibt; Energie ist ein Brennstoff/Treibstoff/Antriebsmittel für Körper | 35 | 14 | 21 | 5 | 11 | 9 | 10 | 24 | 11 | 17 | 11 | 28 | 7 | 4 | 6 |
| 18 | 10 | Nennung verschiedener Energieformen (Windenergie, Stromenergie, Atomenergie, Bewegungsenergie, Reibungsenergie, Körperenergie, mechanische Energie, ...) > Energie ist in vielen Arten/Konstellationen/Formen vorhanden | 32 | 19 | 13 | 3 | 5 | 6 | 18 | 28 | 4 | 14 | 14 | 28 | 4 | 13 | 5 |
| 4 | # | Energie ist Strom, unter Energie stelle ich mir Strom vor; Elektrizität; etwas ähnliches wie Strom; Steckdose/kommt aus Steckdose; gibt die Möglichkeit, elektrische Geräte zu nutzen | 28 | 17 | 11 | 6 | 7 | 6 | 9 | 16 | 12 | 4 | 12 | 16 | 12 | 0 | 9 |
| 23 | 91 | kann man verbrauchen/herstellen/verbrennen/erzeugen | 27 | 12 | 15 | 3 | 4 | 10 | 10 | 21 | 6 | 10 | 10 | 20 | 7 | 3 | 7 |
| 5 | 4 | Energie ist zum bewegen (für Bewegung/Sport); Grundbaustein für Bewegung; braucht man für Bewegung | 22 | 12 | 10 | 2 | 8 | 4 | 8 | 17 | 5 | 6 | 7 | 13 | 9 | 1 | 7 |
| 40 | # | Energie ist (ein System) Fähigkeit/Möglichkeit, Arbeit zu verrichten; Energie ist gespeicherte Arbeit; mit ihr ist Arbeit möglich; Zustand eines Körpers | 22 | 11 | 11 | 0 | 0 | 12 | 10 | 15 | 7 | 9 | 9 | 18 | 4 | 7 | 3 |
| 11 | 14,17 | Vitamine geben Energie; durch Vitamine bekommt der Körper Energie; Energie ist die Umwandlung von Vitaminen | 17 | 6 | 11 | 10 | 6 | 1 | 0 | 10 | 7 | 5 | 6 | 11 | 6 | 0 | 0 |
| 7 | 2 | Energie ist in Stoffen, Aufbaustoffen, Nährstoffen (Fett,Eiweiß,Kohlenhydrate), Nahrungsmitteln (Red Bull) | 13 | 8 | 5 | 6 | 6 | 1 | 0 | 12 | 1 | 2 | 5 | 7 | 6 | 0 | 0 |
| 15 | 1,91 | Energie entsteht/wird hervorgerufen durch aufgenommene Nahrung; Nährstoffe werden in Energie umgesetzt; Energie wird gewonnen | 13 | 7 | 6 | 2 | 1 | 3 | 7 | 9 | 4 | 6 | 6 | 12 | 1 | 3 | 4 |
| 48 | 26 | Energie geht nie verloren, kann man nicht verbrauchen, sondern wird nur umgewandelt | 10 | 5 | 5 | 0 | 1 | 4 | 5 | 7 | 3 | 4 | 3 | 7 | 3 | 2 | 3 |
| 8 | 5,7 | Energie ist so etwas/ein Stoff, das/der in Nahrungsmitteln ist/vorhanden/gespeichert ist | 8 | 3 | 5 | 0 | 1 | 4 | 3 | 7 | 1 | 4 | 3 | 7 | 1 | 2 | 1 |
| 34 | 4 | was man zur (besseren/schnelleren) Bewegung/zum Fußballspielen braucht | 8 | 5 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 6 | 2 | 5 | 3 | 8 | 0 | 0 | 1 |
| 28 | 5,9 | Energie ist ein Stoff, der den Körper aufbaut, stelle mir vor, dass Energie den Körper aufbaut; Körper ist Energie | 7 | 3 | 4 | 6 | 0 | 0 | 1 | 4 | 3 | 2 | 5 | 7 | 0 | 0 | 1 |
| 36 | 15,22 | GTP/NADP/ATP ist eine Energieform; Energie wird in ATP gespeichert; ATP ist energiereiche Substanz | 7 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 0 | 5 | 2 | 7 | 0 | 6 | 1 |
| 3 | 9 | Nährstoffe (oder auch einzeln genannte) sind Energie | 6 | 4 | 2 | 3 | 1 | 2 | 0 | 5 | 1 | 2 | 3 | 5 | 1 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 39 | nicht mit Sinnen wahrnehmbar/unsichtbar/nicht beschreibbar/nicht fassbar | 6 | 2 | 4 | 0 | 0 | 2 | 4 | 5 | 1 | 3 | 1 | 4 | 2 | 1 | 3 |
| 45 | 5 | Energie ist ein Teilchen/Substanz/kleinste Teilchen; Energie besteht aus Stoffen; Energie ist eine Substanz | 6 | 2 | 4 | 0 | 0 | 1 | 5 | 4 | 2 | 3 | 0 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 12 | 38 | Sonne gibt Energie/Energiefeld; alle Energie geht von der Sonne aus; Kraft, die von der Sonne ausgeht | 5 | 3 | 2 | 0 | 4 | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 4 | 5 | 0 | 0 | 1 |
| 39 | 91 | durch Reaktionen von Stoffen untereinander entsteht Energie; freigesetzt durch chem. Reaktion entsteht Energie bei der Umwandlung von Stoffen | 5 | 1 | 4 | 0 | 2 | 1 | 2 | 4 | 1 | 1 | 4 | 5 | 0 | 1 | 1 |
| 22 | 10 | Bewegung ist eine der Energieformen | 4 | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| 61 | 91 | Energie entsteht durch Bewegung/Wärme | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 0 | 1 |
| 14 | 30 | Energie ist in Bewegung/Kraft/Wärme umwandelbar | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 |
| 17 | 16 | durch gesunde Nahrung (Obst/Gemüse nicht nur Süßes) besitzt/bekommt man/hat man Energie | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 19 | 8,1,91 | Energie wird in Verbrennungsprozessen erzeugt; Energie entsteht durch Verbrennung von Kohlenhydraten | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 41 | 10 | Energie tritt in verschiedenen Formen auf, die ineinander umgewandelt werden können | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 0 |
| 44 | 28 | Energie ist fast überall/fast immer da/in allem | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 |
| 46 | # | $E=mc^2$ | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 21 | 37,13 | Energie ist Vorrat/Speicher, den man zum Leben braucht und durch Nahrungsaufnahme angelegt | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| 24 | 37 | Energie muss nach Krankheit aufgetankt werden; Energie muss wieder ersetzt werden | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 32 | 4 | ohne Energie kein Leben | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 51 | 10,1 | Energie wird von uns umgewandelt und somit für uns nutzbar gemacht | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| 52 | # | auch Atome brauchen Energie | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 |
| 56 | 24 | in chem. Verbindungen gespeichert | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 57 | # | Energie ist Bewegung der kleinsten Teilchen | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 |
| 58 | # | Energie ist fühlbar/kann man sehen (Wärme/Kraft) | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| 64 | 13,4 | Energie wird in Form von Wärme und Bewegung frei, wenn der Mensch was tut | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 71 | 91 | Kraft, die durch Abläufe in der Natur entsteht; Energie kann durch Sonne hergestellt werden | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 74 | 6 | Energie wird im Körper verbrannt | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 76 | 10 | Strahlung, die sich noch nicht in Materie umgewandelt hat (und umgekehrt) | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 79 | # | Energie ist so was wie Batterie | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 |
| 16 | 37 | wenn der Mensch ausgeschlafen/ausgeruht ist/sich ausruht, hat er Energie/entwickelt er Energie | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 13,5 | Energie kommt aus der Luft | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 7,5 | Energie ist in Strom | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 30 | 91 | Energie wird aus Wasser und anderen Dingen erzeugt | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 33 | 4 | beim Schlafen braucht man keine Energie | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | # | an etwas arbeiten/etwas leisten | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 37 | # | Unterschied zwischen den Zuständen zweier Stoffe | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 38 | 25 | durch Umwandlung von ATP in ADP wird Energie frei | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 42 | # | Energie ist Oberbegriff für alles im Universum existierende | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 43 | 25 | Energie ist das Ergebnis exothermer Reaktionen | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|---|------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|---------|-------------------|---------------------|----------|---------|---------|---------|--------------------|---------------------|
| 47 | 1,9 | Körper kann im Magen auch selber Energie erzeugen | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 53 | 22 | Energie ist im Körper in Form von ATP | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 60 | # | (Formel) 1. Weg durch Zeit 2. Stromstärke mal Spannung durch Zeit 3. Kraft mal Weg | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 62 | 39 | Energie gibt es nicht in reiner Form | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 65 | # | Energie dient dazu, etwas zu bewirken oder voranzutreiben | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 66 | 53,10,33 | bei der Umwandlung von einer Energieform in eine andere entsteht immer ein Verlust in Wärme | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 67 | 84 | Umwandlung von Sonnenlicht in Energie | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 68 | 2,1 | Mensch nimmt Energie in Form von Nahrung zu sich | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 70 | # | man kann zwischen natürlicher und unnatürlicher (vom Menschen hergestellter) Energie unterscheiden | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 75 | 31 | Energie erzeugt Wärme | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 78 | # | bewegte Elektronen | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 80 | 25 | wenn in uns Wärme entsteht, wird Energie frei | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Code-Nr. der KSA | Code-Nr. der GV | A6 Welchen Zusammenhang erkennst Du in der Reihenfolge der Worte "Sonne, Pflanzen, Tiere, Mensch, Wärme", der mit Energie in Verbindung steht? | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SH | alle Nat-Intr. Ja | alle Nat-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SH mit LK Bio | alle SH ohne LK Bio |
| | | Probandenanzahl | 390 | 190 | 200 | 83 | 84 | 84 | 139 | 262 | 128 | 138 | 139 | 277 | 113 | 60 | 79 |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 59 | 36 | 23 | 16 | 9 | 14 | 20 | 36 | 23 | 15 | 19 | 34 | 25 | 8 | 12 |
| | | <u>längere Zeit</u> über die Frage nachgedacht | 62 | 22 | 40 | 20 | 15 | 11 | 16 | 38 | 24 | 19 | 18 | 37 | 25 | 7 | 9 |
| | | <u>nicht lange</u> über die Frage nachgedacht | 269 | 132 | 137 | 47 | 60 | 59 | 103 | 188 | 81 | 104 | 102 | 206 | 63 | 45 | 58 |
| | | Frage nicht beantwortet | 49 | 31 | 18 | 18 | 13 | 12 | 6 | 31 | 18 | 12 | 12 | 24 | 25 | 3 | 3 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 20 | 13 | 7 | 12 | 1 | 2 | 5 | 15 | 5 | 4 | 6 | 10 | 10 | 3 | 2 |
| 7 | # | Nahrungskette wird beschrieben/umschrieben (Mensch frisst Tier, Tier frisst Pflanze, Sonne lässt Pflanzen wachsen) <u>ohne</u> Energie zu nennen | 123 | 61 | 62 | 18 | 26 | 30 | 49 | 80 | 43 | 45 | 55 | 100 | 23 | 19 | 30 |
| 8 | 13 | Menschen (und Tiere) geben Wärme(energie) (durch Bewegung, Arbeit) ab/erzeugen (Ab-) Wärme | 80 | 40 | 40 | 8 | 19 | 18 | 35 | 52 | 28 | 34 | 33 | 67 | 13 | 19 | 16 |
| 17 | 2,4,13 | Energie-Weitergabe wird beschrieben: Tiere fressen Pflanzen, Menschen essen Tiere und Pflanzen; Tiere und Menschen erhalten Energie aus der Nahrung | 77 | 36 | 41 | 4 | 21 | 17 | 35 | 58 | 19 | 37 | 27 | 64 | 13 | 20 | 15 |
| 23 | # | Pflanzen betreiben mit Hilfe von Licht/Sonne Photosynthese (Glucoseaufbau); Sonne brauchen Pflanzen zur Photosynthese | 66 | 22 | 44 | 0 | 6 | 16 | 44 | 52 | 14 | 32 | 26 | 58 | 8 | 28 | 16 |
| 9 | 13,41 | Sonne gibt Pflanzen Energie, um zu wachsen/hat Energie, um Pflanzen wachsen zu lassen; Sonne ist Energielieferant für Pflanzen; Pflanzen bekommen Energie von Sonne | 62 | 25 | 37 | 8 | 23 | 5 | 26 | 41 | 21 | 26 | 26 | 52 | 10 | 12 | 14 |
| 6 | 13,42,44 | Pflanzen, Tiere, Menschen brauchen Wärme, die ihnen die Sonne gibt; Sonne gibt allen Wärme | 55 | 25 | 30 | 13 | 10 | 16 | 16 | 35 | 20 | 23 | 16 | 39 | 16 | 4 | 12 |
| 1 | 38 | Sonne ist Energie-Quelle/Primärenergie/Energie-Spender; Sonne gibt allen Energie; alle Energie geht von der Sonne aus; Sonne gibt dem Leben auf der Erde Energie | 39 | 23 | 16 | 6 | 8 | 9 | 16 | 26 | 13 | 12 | 17 | 29 | 10 | 6 | 10 |
| 2 | 4 | Tiere, Pflanzen, Menschen brauchen/nutzen/benötigen Energie, um zu leben | 18 | 4 | 14 | 8 | 2 | 3 | 5 | 11 | 7 | 7 | 6 | 13 | 5 | 0 | 5 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------|--|----|---|----|---|---|---|----|----|---|---|---|----|----|---|---|
| 36 | 1,91 | Nahrung wird in Energie umgesetzt/umgewandelt | 15 | 4 | 11 | 0 | 2 | 3 | 10 | 11 | 4 | 8 | 3 | 11 | 4 | 6 | 4 |
| 13 | 43 | Mensch wird warm durch das Essen/durch Aufnehmen von Nährstoffen von Tieren und Pflanzen; durch Nahrungsaufnahme entsteht Wärme | 14 | 4 | 10 | 1 | 5 | 5 | 3 | 8 | 6 | 7 | 6 | 13 | 1 | 0 | 3 |
| 71 | 44 | Sonne spendet Wärme | 12 | 5 | 7 | 5 | 1 | 2 | 4 | 9 | 3 | 0 | 1 | 1 | 11 | 1 | 3 |
| 4 | 45 | Wärme ist Energie | 8 | 2 | 6 | 3 | 1 | 2 | 2 | 7 | 1 | 3 | 3 | 6 | 2 | 1 | 1 |
| 55 | 44,50 | Sonne gibt Energie in Licht und Wärme ab | 8 | 1 | 7 | 0 | 3 | 4 | 1 | 7 | 1 | 5 | 2 | 7 | 1 | 0 | 1 |
| 15 | # | Sonne erzeugt Energie; Sonne setzt Energie frei | 7 | 2 | 5 | 1 | 5 | 1 | 0 | 2 | 5 | 2 | 4 | 6 | 1 | 0 | 0 |
| 24 | 1,91,87 | Pflanzen gewinnen/produzieren ihre Energie aus der Sonne; Pflanzen wandeln Licht/Wärme in Energie um | 7 | 4 | 3 | 0 | 1 | 2 | 4 | 7 | 0 | 4 | 3 | 7 | 0 | 3 | 1 |
| 5 | 13,46,45 | Energie der Wärme lässt Pflanzen wachsen/leben; Pflanzen nehmen Energie in Form von Wärme auf | 6 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 | 2 | 4 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0 | 3 |
| 11 | 40,2,13 | Mensch bekommt durch das Essen von Tieren Energie | 6 | 2 | 4 | 1 | 2 | 0 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 4 | 2 | 1 | 2 |
| 33 | 47 | letztendlich wird alle Energie in Wärme umgewandelt/niedrigste Form der Energie "Wärme" bleibt übrig; Energie findet ihre Endstation in Wärme; in Wärme endet Nahrungskette(Energie) | 9 | 5 | 4 | 0 | 3 | 1 | 5 | 8 | 1 | 3 | 3 | 6 | 3 | 2 | 3 |
| 3 | 1,91 | Lebewesen (Tiere, Pflanzen, Menschen) können Energie entwickeln/bilden/erzeugen | 7 | 4 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 7 | 0 | 4 | 3 | 7 | 0 | 1 | 1 |
| 25 | 13,43 | alle Lebewesen geben (wegen ihrer Reaktionen) Wärme ab (auch Pflanzen) | 4 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 3 | 3 | 1 | 4 | 0 | 4 | 0 | 3 | 0 |
| 29 | 10,33,43 | bei Umwandlungsprozessen der Energie wird Wärme frei | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 | 4 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 34 | 15 | Pflanzen speichern Energie | 4 | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| 39 | 44 | Energie wird von der Sonne in Form von Wärme abgegeben | 4 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 0 | 0 | 2 |
| 40 | 6,35,43 | Mensch/Lebewesen verbrennt gespeicherte/aufgenommene Energie > Wärme entsteht | 4 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 4 | 0 | 2 | 2 | 4 | 0 | 1 | 1 |
| 51 | 42 | Wärme ist Ursprung des Lebens - Pflanzen nützen die Wärme der Sonne; Wärme ermöglicht erst Leben | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 |
| 20 | 3 | alle Lebewesen verbrauchen Energie | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 1 |
| 31 | 13,46 | durch Wärme kommt es zur Photosynthese | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 3 |
| 37 | 13,43,48,42,49 | Energiekreislauf beginnt und endet mit Wärme | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 41 | 10,30 | Energie der Sonnenstrahlen wird durch Photosynthese in Traubenzucker/Stärke umgewandelt | 3 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 |
| 45 | 49 | Kreislauf der Energie; alles ist ein Kreislauf | 3 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 3 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 53 | 35,43 | Menschen verbrennen Nahrung > Wärme | 3 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 69 | 10 | Pflanzen wandeln Sonnenenergie in chemisch gebundene Energie um | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 1 |
| 12 | 1,91 | aus aufgenommener Wärme entsteht im Körper/in Lebewesen Energie | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 50 | Licht ist Energie | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 13 | Menschen geben Energie ab | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27 | 1,91 | Energie wird in Vorgängen gewonnen; Menschen produzieren Energie | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 2+4 | 31 | durch Energie entsteht Wärme | 4 | 1 | 3 | 0 | 0 | 1 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 |
| 38 | 1,87 | Pflanzen bilden Energie | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 49 | 10 | Energie wird umgewandelt | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 56 | 10 | Lebewesen wandeln Sonnenenergie in Wärme um (deshalb sind sie warm) | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 57 | 1 | Pflanzen wandeln Licht in Energie um/stellen mit Sonnenstrahlen bei Photosynthese Energie her | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 77 | 49 | Energie-Kreislauf | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 19 | 13,38,48 | Sonne und Wärme geben Pflanzen/Tieren/Menschen notwendige Energie | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 1 | Menschen/Tiere benötigen Wasserstoff, um Energie zu erzeugen | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 22 | 34 | je wärmer, desto schneller alle Reaktionen | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 26 | 45 | Wärme ist Energie | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 30 | 17 | Pflanzen nehmen zur Versorgung Vitamine auf | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 35 | 13,51 | Mensch stirbt, Wärme wird abgegeben | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 42 | 3,43 | Verbrauch von Energie erzeugt Wärme | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 43 | 10 | Licht wird in chemische gebundene Energie umgewandelt | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 44 | 3,40,43,91 | Menschen verbrauchen die von den Tieren durch Fressen aufgenommene Energie, d.h. geben sie in Form von Wärme ab | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 46 | 9 | Glucose ist Energie | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 48 | 43 | durch Verwesung aller Lebewesen entsteht Wärme | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | # | wo es Energie gibt, entsteht gleichzeitig auch Wärme | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 52 | 3,43,91 | Menschen verbrauchen Energie und geben Wärme ab | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 54 | 43 | überschüssige Energie wird in Wärme abgegeben | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 58 | 52 | Pflanzen nehmen Energie durch Boden auf | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 59 | # | Pflanzen bekommen von Sonne Licht und Wärme | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 10 | Menschen wandeln Energie in Wärme um | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 61 | 47 | in Wärme umgewandelte Energie geht/ist verloren | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 62 | 30 | Pflanzen wandeln Sonnenenergie in Nährstoffe um | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 64 | 38,47 | Energiekette: von Sonne geht alle Energie aus, über Pflanzen, Tier, Mensch hin zur Wärme | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 65 | 40,13 | Pflanzen geben nur einen Teil ihrer Energie an Tiere (beim Gefressenwerden) ab | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 66 | 7,5 | Energie ist wichtiger Stoff aus Fleisch | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 67 | 3,91 | Pflanzen verbrauchen Sonnenenergie | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 68 | 13,54 | Sauerstoff bringt den Menschen die Energie von Pflanzen | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 70 | 91 | in der Reihenfolge stecken Energieerzeuger und Energieverbraucher | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 72 | 5,40,13 | beim Fressen werden Stoffe wie Energie weitergegeben | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|---|------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|----------|-------------------|---------------------|----------|---------|---------|---------|---------------------|----------------------|
| 73 | 55 | durch Reibung entsteht im Menschen Wärme | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 74 | 15,19 | die Energie bei Mensch und Tier steckt im Herz | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 76 | # | man unterscheidet exotherme und endotherme Energie | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Code-Nr. der KSA | Code-Nr. der GV | A7 Was hältst Du von der Aussage: Wenn man ganz still sitzt und eine Rechenaufgabe im Kopf löst, braucht man keine Energie, da man sich nicht bewegt? Begründe Deine Antwort. | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SII | alle Nat-Intr. Ja | alle Nat-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SII mit LK Bio | alle SII ohne LK Bio |
| | | Probandenanzahl | 390 | 190 | 200 | 83 | 84 | 84 | 139 | 262 | 128 | 138 | 139 | 277 | 113 | 60 | 79 |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 45 | 20 | 25 | 8 | 5 | 18 | 14 | 27 | 18 | 15 | 9 | 24 | 21 | 4 | 10 |
| | | längere Zeit über die Frage nachgedacht | 41 | 18 | 23 | 11 | 9 | 9 | 12 | 22 | 19 | 11 | 15 | 26 | 15 | 5 | 7 |
| | | nicht lange über die Frage nachgedacht | 304 | 152 | 152 | 64 | 70 | 57 | 113 | 213 | 91 | 112 | 115 | 227 | 77 | 51 | 62 |
| | | Frage nicht beantwortet | 40 | 23 | 17 | 8 | 12 | 14 | 6 | 21 | 19 | 12 | 8 | 20 | 20 | 1 | 5 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 9 | 6 | 3 | 3 | 1 | 0 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 8 | 1 | 3 | 2 |
| 1 | 4 | Kopf/Gehirn braucht (viel) Energie zum Arbeiten/Denken/Konzentrieren; Vorgänge im Nervensystem/Denken brauchen Energie | 235 | 112 | 123 | 58 | 51 | 46 | 80 | 165 | 70 | 96 | 86 | 182 | 53 | 36 | 44 |
| 6 | 3,4,91 | beim Denken/für lebenserhaltende Funktionen verliert/verbraucht man Energie | 87 | 38 | 49 | 6 | 13 | 29 | 39 | 59 | 28 | 28 | 29 | 57 | 30 | 16 | 23 |
| 3 | 3,4,91 | Körper verbraucht immer/für alles Energie (z.B. Körperwärme, Herzschlag, Atmung, lebenserhaltende Funktionen, Stoffwechsel); auch bei Ruhe/im Schlaf, weil er sonst stirbt | 81 | 34 | 47 | 4 | 10 | 25 | 42 | 56 | 25 | 37 | 31 | 68 | 13 | 21 | 21 |
| 7 | 56 | beim Denken braucht man keine Energie, weil man sich nicht bewegt/sich nicht auf Bewegung konzentrieren muss; eine Rechenaufgabe zu lösen, ist für den Energiebedarf eines Menschen unerheblich: keine Muskelbewegung > kein Energieverbrauch | 11 | 9 | 2 | 3 | 2 | 2 | 4 | 6 | 5 | 2 | 5 | 7 | 4 | 0 | 4 |
| 12 | 4,57 | man braucht weniger Energie, da es keine Muskelbewegung/Muskelarbeit gibt | 11 | 4 | 7 | 2 | 4 | 2 | 3 | 6 | 5 | 4 | 3 | 7 | 4 | 3 | 0 |
| 5 | 4 | Denkvorgänge sind kleine „Stromimpulse“, die Energie benötigen | 8 | 5 | 3 | 1 | 0 | 1 | 6 | 7 | 1 | 5 | 3 | 8 | 0 | 4 | 2 |
| 11 | 4,57 | man braucht Energie, da im Gehirn auch Prozesse ablaufen, die mit Bewegung zu tun haben; beim Rechnen muss sich das Gehirn bewegen | 6 | 2 | 4 | 1 | 3 | 1 | 1 | 5 | 1 | 3 | 2 | 5 | 1 | 1 | 0 |
| 8 | 10 | es gibt verschiedene Formen von Energie (Bewegungsenergie, Körperenergie, intellektuelle Energie, psychische Energie) | 5 | 4 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 1 | 3 | 2 | 5 | 0 | 1 | 0 |
| 16 | 3,4,91 | in erster Linie die beim Sitzen angespannte Muskulatur verbraucht Energie | 5 | 1 | 4 | 0 | 2 | 3 | 0 | 4 | 1 | 1 | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 4,57 | Energiebedarf beim Denken sehr gering | 4 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 20 | 4,29,58 | Energie wird vorrangig zum Gehirn geleitet, damit es maximale Leistung bringen kann | 3 | 0 | 3 | 0 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 3,9,91 | die Energie, die das Gehirn verbraucht, besteht aus Traubenzucker | 3 | 2 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 4,64 | auch wenn Reaktionen langsam ablaufen, wird dennoch Energie benötigt | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| 9 | 20,9 | Energie sind Vitamine | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 15 | 60 | chemische Reaktionen im Kopf benötigen Energie > Denkvorgänge sind chemische Reaktionen | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 59 | Energie ist Denken | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|---|---------------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|---------|-------------------|---------------------|----------|---------|---------|---------|--------------------|---------------------|
| 10 | 1,91 | Denken erzeugt Energie | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 4 | Körper braucht Energie, um Körperenergie aufrecht zu erhalten | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 14 | 58 | Gehirn benötigt ohnehin die meiste Energie | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 4,58 | die meiste Energie braucht der Körper für die Verdauung | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 11,16 | die zugeführte Energie muss "richtige" Energie sein (gesunde Energie), sonst ist sie nutzlos | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 3,4,91 | der Energieverbrauch im Gehirn führt nicht zum Abbau von Fettzellen | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 3,4,91 | das Gehirn braucht Kraft und somit verliert der Körper Energie | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Code-Nr. der KSA | Code-Nr. der GV | A8 Löwen verhungern, wenn sie bei ihren Hetzjagden einige Male hintereinander nur kleine Beutetiere fangen konnten. Versuche, das zu erklären. | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SH | alle Nat-Intr. Ja | alle Nat-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SH mit LK Bio | alle SH ohne LK Bio |
| | | | Probandenzahl | 390 | 190 | 200 | 83 | 84 | 84 | 139 | 262 | 128 | 138 | 139 | 277 | 113 | 60 |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 49 | 22 | 27 | 9 | 8 | 15 | 17 | 30 | 19 | 16 | 13 | 29 | 20 | 6 | 11 |
| | | <u>längere Zeit</u> über die Frage nachgedacht | 38 | 15 | 23 | 16 | 11 | 5 | 6 | 25 | 13 | 12 | 11 | 23 | 15 | 5 | 1 |
| | | <u>nicht lange</u> über die Frage nachgedacht | 303 | 153 | 150 | 58 | 65 | 64 | 116 | 207 | 96 | 110 | 115 | 225 | 78 | 49 | 67 |
| | | Frage nicht beantwortet | 47 | 24 | 23 | 10 | 13 | 15 | 9 | 26 | 21 | 12 | 7 | 19 | 28 | 3 | 6 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 27 | 12 | 15 | 18 | 0 | 3 | 6 | 15 | 12 | 7 | 11 | 18 | 9 | 1 | 5 |
| 1 | 2,13,15,61 | kleine Beute hat zu wenig Energie/aus ihr kann zu wenig Energie genommen werden/in ihr steckt zu wenig Energie | 279 | 133 | 146 | 43 | 54 | 60 | 122 | 191 | 88 | 110 | 105 | 215 | 64 | 55 | 67 |
| 5 | 3,4,64,91 | verbrauchen beim Jagen/schnellen Bewegungen viel Energie; beim Jagen verschwindet Energie/vernichten sie Energie | 173 | 84 | 89 | 14 | 37 | 45 | 77 | 124 | 49 | 60 | 67 | 127 | 46 | 36 | 41 |
| 3 | 2 | Nahrung gibt dem Löwen Energie | 7 | 4 | 3 | 1 | 4 | 2 | 0 | 5 | 2 | 3 | 4 | 7 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 6 | Energie wird bei der Hetze/Jagd/Hetzjad verbrannt | 7 | 4 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 6 | 1 | 4 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | 13,32 | Löwen können Energie-Reserven mit kleiner Beute nicht wieder auffüllen >leiden an Energie-Mangel | 6 | 3 | 3 | 0 | 4 | 0 | 2 | 5 | 1 | 3 | 2 | 5 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 17,18 | kleine Tiere haben zu wenig Vitamine, Spurenelemente, Kohlenhydrate (> wenig Energie) | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 15 | Löwen haben keine Energie-Reserve/können Energie nicht speichern | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 |
| 8 | 15,3,91 | gespeicherte Energie wird verbraucht | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 15 | Löwen haben in der Regel keine Fettschicht > keinen Energiespeicher | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 3,4,10,91 | dadurch, dass sie beim Jagen viel Energie verlieren, können sie neue Energie nicht umwandeln | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 4,62 | Löwen sind groß und brauchen deshalb grundsätzlich mehr Energie | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 37 | Hitze nimmt Energie weg | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 16 | rohes Fleisch hat mehr Energie als Durchgebratenes | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

| Code-Nr. der KSA | Code-Nr. der GV | A9 An heißen Sommerstagen trinkt man mehr und isst man weniger. Man trinkt mehr, weil man schwitzt. Aber warum isst man weniger? | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SII | alle Nat-Intr. Ja | alle Nat-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SII mit LK Bio | alle SII ohne LK Bio |
|------------------|-----------------|--|------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|----------|-------------------|---------------------|----------|---------|---------|---------|---------------------|----------------------|
| | | Probandenanzahl | 390 | 190 | 200 | 83 | 84 | 84 | 139 | 262 | 128 | 138 | 139 | 277 | 113 | 60 | 79 |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 78 | 47 | 31 | 17 | 7 | 20 | 34 | 52 | 26 | 27 | 29 | 56 | 22 | 15 | 19 |
| | | <u>längere Zeit</u> über die Frage nachgedacht | 71 | 28 | 43 | 15 | 23 | 13 | 20 | 48 | 23 | 26 | 23 | 49 | 22 | 9 | 11 |
| | | <u>nicht lange</u> über die Frage nachgedacht | 241 | 115 | 126 | 51 | 54 | 51 | 85 | 162 | 79 | 85 | 87 | 172 | 69 | 36 | 49 |
| | | Frage nicht beantwortet | 94 | 53 | 41 | 17 | 29 | 24 | 24 | 63 | 31 | 29 | 31 | 60 | 34 | 10 | 14 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 83 | 38 | 45 | 43 | 3 | 2 | 35 | 46 | 37 | 33 | 33 | 66 | 17 | 11 | 24 |
| 6 | 13,48 | Körper wird von außen gewärmt und braucht deshalb weniger Nahrung (Energie) | 64 | 30 | 34 | 2 | 7 | 16 | 39 | 48 | 16 | 32 | 23 | 55 | 9 | 24 | 15 |
| 2 | 64 | geringere/langsamere Bewegung > man benötigt weniger Energie/hat weniger Hunger und muss weniger Energie wieder aufbauen | 46 | 23 | 23 | 2 | 16 | 9 | 19 | 35 | 11 | 20 | 17 | 37 | 9 | 9 | 10 |
| 1 | 2 | Energie wird anstatt mit Nahrung mit Getränken aufgenommen | 28 | 17 | 11 | 3 | 7 | 11 | 7 | 21 | 7 | 6 | 11 | 17 | 11 | 3 | 4 |
| 11 | 65,13 | man bekommt viel Energie von der Sonne | 7 | 2 | 5 | 0 | 1 | 5 | 1 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 0 | 1 |
| 16 | 43,60 | zur Verdauung braucht man Energie und gibt Wärme ab > um Wärmeproduktion einzuschränken, muss man weniger Essen | 7 | 2 | 5 | 0 | 2 | 3 | 2 | 5 | 2 | 4 | 2 | 6 | 1 | 0 | 2 |
| 5 | 91,48,13 | man gewinnt mehr Energie durch Wärme; durch hohe Außentemperatur braucht der Körper nicht so viel Nahrung zur Energiegewinnung | 5 | 0 | 5 | 1 | 0 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 10 | 13,42 | kaum Wärmeenergie nötig, da außen warm | 3 | 0 | 3 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 |
| 14 | 35,43 | durch Verbrennung von Nahrung entsteht Wärme | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 | 2 | 1 |
| 15 | 33,10,43 | beim Essen würde man mehr Energie umsetzen/umwandeln und den Körper unnötig erhitzen | 3 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 18 | 43 | bei der Verdauung von Nahrung wird Wärme frei > weniger verdauen > weniger Wärme | 3 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 2 | 3 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 | 2 | 0 |
| 4 | 3 | es wird nicht so viel Energie verbraucht | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | 3 | ein Teil der Nahrung wird zum Heizen des Körpers verwendet > Energie geht hierfür verloren | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 63,5 | Energie kann bei Hitze nicht so schnell verarbeitet werden | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 22 | 63 | der Stoffwechsel verringert sich bei hoher Außentemperatur | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 31 | aufgenommene Energie erzeugt Wärme | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 13 | 75,43 | Muskelbewegung/Muskelarbeit erzeugt Wärme | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 19 | 91,33,43 | bei der Gewinnung von Energie wird Wärme frei, die man an heißen Tagen nicht braucht | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 21 | 9 | Essen ist gebündelte Energie | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 3,4 | beim Kühlen des Körpers verbraucht man weniger Energie | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |

| Code-Nr. der KSA | Code-Nr. der GV | A10 Salamander, Schildkröten und Insekten bewegen sich bei 15 Grad Celsius langsamer als bei 30 Grad Celsius. Wie ist das zu erklären? | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SII | alle Nat-Intr. Ja | alle Nat-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SII mit LK Bio | alle SII ohne LK Bio |
|------------------|-----------------|---|------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|----------|-------------------|---------------------|----------|---------|---------|---------|---------------------|----------------------|
| | | Probandenanzahl | 390 | 190 | 200 | 83 | 84 | 84 | 139 | 262 | 128 | 138 | 139 | 277 | 113 | 60 | 79 |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 95 | 51 | 44 | 27 | 12 | 22 | 34 | 62 | 33 | 33 | 34 | 67 | 28 | 15 | 19 |
| | | <u>längere Zeit</u> über die Frage nachgedacht | 69 | 25 | 44 | 8 | 18 | 14 | 29 | 45 | 24 | 23 | 30 | 53 | 16 | 13 | 16 |
| | | <u>nicht lange</u> über die Frage nachgedacht | 226 | 114 | 112 | 48 | 54 | 48 | 76 | 155 | 71 | 82 | 75 | 157 | 69 | 32 | 44 |
| | | Frage nicht beantwortet | 78 | 36 | 42 | 22 | 10 | 18 | 28 | 48 | 30 | 28 | 31 | 59 | 19 | 11 | 17 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 53 | 24 | 29 | 22 | 6 | 5 | 20 | 33 | 20 | 17 | 14 | 31 | 22 | 4 | 16 |
| 13 | 13,34 | Körpertemperatur passt sich der Außentemperatur an > können sich deshalb nicht so schnell bewegen/bei hoher Temperatur können sie sich dann schneller bewegen; für schnelle Bewegungen sind sie auf hohe Außentemperaturen angewiesen | 28 | 17 | 11 | 3 | 7 | 7 | 11 | 20 | 8 | 11 | 10 | 21 | 7 | 5 | 6 |
| 10 | 13,48 | erhalten/bekommen durch Wärme mehr Energie; haben bei Wärme mehr Energie | 26 | 11 | 15 | 4 | 6 | 2 | 14 | 17 | 9 | 9 | 10 | 19 | 7 | 4 | 10 |
| 11 | 4 | bei Kälte benötigen sie (mehr) Energie zum Heizen/zur Erreichung der Körpertemperatur > weniger bleibt zum Fortbewegen | 23 | 8 | 15 | 1 | 2 | 5 | 15 | 20 | 3 | 12 | 7 | 19 | 4 | 10 | 5 |
| 15 | 36,13 | Tiere bekommen/tanken durch Sonne mehr Energie und sind dadurch schneller; Tiere haben Sonne (für Bewegung) als direkte Energie-Quelle | 19 | 10 | 9 | 1 | 7 | 7 | 4 | 12 | 7 | 8 | 7 | 15 | 4 | 1 | 3 |
| 17 | 34 | Reaktionsgeschwindigkeit/Stoffwechselrate sinkt bei niedrigen Temperaturen | 19 | 10 | 9 | 0 | 1 | 3 | 15 | 16 | 3 | 9 | 7 | 16 | 3 | 9 | 6 |
| 14 | 3,4,66,91 | wollen Energie-Reserven (Fettschicht) nicht (durch Bewegung) verbrauchen; um nicht viel Energie zu verbrauchen, verhalten sie sich ruhiger; Energie darf nicht durch unnötige Bewegung verbraucht werden | 12 | 6 | 6 | 1 | 2 | 2 | 7 | 10 | 2 | 7 | 3 | 10 | 2 | 4 | 3 |
| 6 | 34 | können sich bei Wärme leichter bewegen; brauchen Wärme zum Bewegen | 5 | 0 | 5 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 3 | 4 | 1 | 1 | 0 |
| 19 | 42 | wechselwarme Tiere benötigen Wärme für Aktivitäten (Stoffwechselprozesse benötigen bestimmte Temperaturen) | 4 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 24 | 34 | warme Muskeln sind leistungsfähiger als kalte | 4 | 3 | 1 | 0 | 2 | 0 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 0 | 0 | 2 |
| 21 | # | brauchen Energie, um sich vor Kälte zu schützen | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 |
| 25 | 64 | langsameres Bewegen verbraucht weniger Energie | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 34 | Muskeln müssen bei Kälte für gleiche Leistung mehr Energie aufbringen; bei Kälte ist Bewegung energieaufwendiger | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| 27 | 66 | bei Kälte sind Lebenserhaltungsprozesse runtergeschaltet, um mit Energie besser zu haushalten | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| 38 | 13,48 | nehmen Energie in Form von Wärme von außen für die innere Verbrennung auf | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 42 | 37 | bei Hitze wird Energie weniger; haben bei Hitze nicht viel Energie > deshalb Tiere langsamer | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 53 | 13,65 | bekommen durch Sonne Energie | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 3 | 13 | durch Schwitzen verlieren sie Energie | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 37 | kostet viel Energie, bei heißem Wetter zu fliegen | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 5 | um Energie aufzusammeln | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 29 | durch langsamer fließendes Blut kommt nicht so schnell Energie zu den Muskeln | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|--|------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|---------|-------------------|---------------------|----------|---------|---------|---------|--------------------|---------------------|
| 20 | 13,67 | kleine Tiere verlieren mehr Energie an die Umgebung als Große | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 34 | 34 | brauchen Wärmeenergie, um Kreislauf schneller zu bewegen | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 36 | 4 | werden von Energie angetrieben | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 39 | 13,48 | speichern keine Energie, kriegen Wärmeenergie von Außentemperatur | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 34 | bei 15 Grad keine gute Nutzung der Wärmeenergie möglich | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 43 | 13,34 | können bei Kälte zu wenig Energie aufnehmen | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 47 | 42 | können keine Wärme produzieren, sind auf äußere angewiesen | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 48 | 6,4,34 | verbrennen bei 15 Grad weniger Energie > langsamer | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 49 | 3,4,34 | verbrauchen bei 15 Grad weniger Energie > langsamer | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 50 | 3,4,34 | je wärmer es wird, desto mehr Energie wird zum Fortbewegen verbraucht | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 51 | 13 | verlieren bei Wärme zuviel Energie | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 57 | 34 | Tiere brauchen Wärme, um schnell zu sein | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Code-Nr. der KSA | Code-Nr. der GV | A/B11 Leben - Tod - Verwesung - Wärme - Energie - Ordnung. Versuche, mit diesen Wörtern einen kurzen zusammenhängenden Text zu schreiben. | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SH | alle Nat-Intr. Ja | alle Nat-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SH mit LK Bio | alle SH ohne LK Bio |
| | | Probandenanzahl | 390 | 190 | 200 | 83 | 84 | 84 | 139 | 262 | 128 | 138 | 139 | 277 | 113 | 60 | 79 |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 147 | 78 | 69 | 40 | 21 | 37 | 49 | 95 | 52 | 45 | 49 | 94 | 53 | 22 | 27 |
| | | <u>längere Zeit</u> über die Frage nachgedacht | 83 | 30 | 53 | 14 | 27 | 17 | 25 | 57 | 26 | 31 | 34 | 65 | 18 | 10 | 15 |
| | | <u>nicht lange</u> über die Frage nachgedacht | 160 | 82 | 78 | 29 | 36 | 30 | 65 | 110 | 50 | 62 | 56 | 118 | 42 | 28 | 37 |
| | | Frage nicht beantwortet | 110 | 57 | 53 | 34 | 17 | 26 | 33 | 73 | 37 | 31 | 37 | 68 | 42 | 11 | 22 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 64 | 31 | 33 | 14 | 16 | 11 | 23 | 40 | 24 | 27 | 21 | 48 | 16 | 9 | 14 |
| 8 | 43 | Verwesung erzeugt Wärme | 59 | 27 | 32 | 2 | 16 | 15 | 26 | 46 | 13 | 29 | 20 | 49 | 10 | 17 | 9 |
| 2 | 42,4 | Energie und Wärme braucht/hat man zum Leben/für den Körper | 51 | 18 | 33 | 16 | 13 | 10 | 12 | 31 | 20 | 16 | 15 | 31 | 20 | 4 | 8 |
| 46 | 91,68 | bei der Verwesung entsteht Energie (Leiche wird zu Energie umgewandelt) | 21 | 8 | 13 | 0 | 8 | 7 | 6 | 14 | 7 | 11 | 5 | 16 | 5 | 4 | 2 |
| 4 | 45 | Wärme ist Energie | 17 | 6 | 11 | 2 | 1 | 5 | 9 | 13 | 4 | 6 | 8 | 14 | 3 | 6 | 3 |
| 32 | 49,25 | bei Verwesung wird Energie frei, die wieder von anderen Organismen (v. a. Pflanzen genannt) genutzt wird (Kreislauf > Ordnung des Lebens) | 14 | 7 | 7 | 0 | 8 | 2 | 4 | 11 | 3 | 4 | 10 | 14 | 0 | 2 | 2 |
| 9 | 37 | wenn man tot ist, hat man keine Wärme und Energie/ist Energie und Wärme weg/freigesetzt | 13 | 7 | 6 | 2 | 4 | 1 | 6 | 10 | 3 | 5 | 2 | 7 | 6 | 2 | 4 |
| 29 | 4 | Leben braucht/benötigt Energie/nach dem Tod braucht man keine Energie mehr | 12 | 3 | 9 | 0 | 3 | 2 | 7 | 9 | 3 | 5 | 5 | 10 | 2 | 4 | 3 |
| 24 | 69 | man braucht Wärme, um zu verwesen; Verwesung setzt bei Wärme ein | 11 | 6 | 5 | 1 | 4 | 4 | 2 | 5 | 6 | 2 | 7 | 9 | 2 | 1 | 1 |
| 20 | 3,4 | Leben verbraucht Energie | 9 | 3 | 6 | 5 | 0 | 3 | 1 | 8 | 1 | 3 | 3 | 6 | 3 | 0 | 1 |
| 23 | 42 | ohne Wärme kann man nicht leben; Leben braucht Wärme; durch Wärme wird Leben möglich | 8 | 8 | 0 | 2 | 0 | 2 | 4 | 4 | 4 | 1 | 6 | 7 | 1 | 0 | 4 |
| 30 | 13,43 | während des Lebens produziert man Wärme/strahlt Energie in Form von Wärme ab | 8 | 3 | 5 | 0 | 3 | 1 | 4 | 6 | 2 | 5 | 3 | 8 | 0 | 3 | 1 |
| 22 | 70 | Verwesung setzt ein, weil man keine Wärme und Energie mehr bekommt/hat | 7 | 3 | 4 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 4 | 3 | 2 | 5 | 2 | 0 | 1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------------|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 43 | lebende Tiere/Menschen sind warm | 6 | 2 | 4 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 5 | 1 | 2 | 1 |
| 13 | 10 | Energie wird in Wärme umgewandelt | 6 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 6 | 5 | 1 | 3 | 2 | 5 | 1 | 3 | 3 |
| 26 | 34 | Wärme beschleunigt Leben/Verwesung | 6 | 5 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 4 | 2 | 0 | 3 |
| 1 | 1,10,91 | Wärme erzeugt Energie; aus Wärme kann man Energie erzeugen; Wärme wird in Energie umgewandelt | 12 | 4 | 8 | 1 | 3 | 5 | 3 | 8 | 4 | 3 | 4 | 7 | 5 | 0 | 3 |
| 5 | 37 | beim/im Leben hat man Energie und Wärme | 5 | 4 | 1 | 3 | 0 | 0 | 2 | 4 | 1 | 0 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| 10 | 37 | bei zu wenig Energie sterben Tiere (Menschen) | 5 | 4 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 4 | 1 | 1 | 4 | 5 | 0 | 1 | 2 |
| 11 | 13,37 | beim Verwesens schwinden Wärme und Energie/werden abgegeben | 5 | 2 | 3 | 0 | 2 | 0 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 5 | 0 | 1 | 2 |
| 18 | 13,37 | wenn man tot ist, hat man keine Energie mehr/wird alle Energie freigesetzt | 5 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 0 | 3 | 2 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 31 | 13,43,48,49 | die bei der Verwesung entstandene Wärme wird von anderen Lebewesen wieder genutzt > Kreislauf geschlossen > Ordnung des Lebens | 5 | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 | 4 | 4 | 1 | 3 | 2 | 5 | 0 | 3 | 1 |
| 21 | 3,4,13,37 | wenn (aufgenommene) Energie verbraucht ist/wenn man keine Energie mehr hat, stirbt man; wenn man zu wenig Energie (und Wärme) zum Verbrauchen aufgenommen hat, stirbt man | 4 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 43 | Leben erzeugt Wärme | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 0 |
| 38 | 4,37 | wenn man tot ist, braucht man keine Energie mehr/kann man keine gebrauchen | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 1 |
| 47 | 13,71 | bei Verwesung geht Energie in Erde | 3 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 3 | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 72 | ohne Wärme und Energie kann man keine Ordnung mehr halten; Energie braucht man, um Ordnung zu schaffen/beizubehalten | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 16 | 91,1 | aus aufgenommener Nahrung wird Energie gewonnen | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| 25 | 91,1 | während des Lebens wird Energie erzeugt/produziert | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| 42 | 43,91 | Wärme durch Produktion von Energie | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| 45 | # | die Ordnung des Stoffwechsels löst sich nach dem Tod auf/ist unterbrochen | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| 51 | # | durch Wärme wird Energie freigesetzt | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 54 | 13,15 | im Leben hat Körper Energie gesammelt und gespeichert | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 57 | 13,40 | Energie wird im Kreislauf durch „Gefressenwerden“ weitergegeben | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | |
| 7 | 69 | durch Wärme wird Körper zu Erde/verwest er | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 91,1 | aus Wasser wird Energie erzeugt | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 12,91,1 | aus Nahrung wird Energie produziert | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 73 | in der Erde ist Energie | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 25 | beim Verwesens werden organische Stoffe abgebaut > Energie wird in Form von Wärme frei | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 28 | 13,40 | Energie wird von Lebewesen zu Kleintieren, die die Verwesung vornehmen, weitergegeben | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 33 | 56,3 | wenn man ruhig liegt, verbraucht man keine Energie | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 34 | 47 | Wärme kann nicht weiter genutzt werden, Wärme ist letzte Station der Energie | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 35 | 26,10 | Energie wird nicht verbraucht/tritt in verschiedenen Formen auf | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 36 | 6 | Energie wird verbrannt > Wärme | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|--|------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|----------|--------------------|----------------------|----------|---------|---------|---------|---------------------|----------------------|
| 37 | 1,91 | der Verbrauch von Elementen erzeugt Energie und Wärme | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 39 | 37 | wenn man tot ist, geht die Energie verloren | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 41 | 26 | Energie geht nicht verloren, sondern wird als Wärme in der Atmosphäre gespeichert | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 43 | 9 | für Destruenten ist der kalte Körper Energie | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 48 | 13,37,49 | zum Leben verwendet man Energie aus Umgebung, die man nach dem Tod an sie zurück gibt | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 49 | 10,33,43 | während des Lebens wird Energie umgewandelt und Wärme abgegeben | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 3,4,91 | bei Verwesung wird Energie verbraucht | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 52 | # | zuerst gab es nur Energie und Wärme, dann kam der Mensch | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 53 | 9,74 | Mineralien (Spurenelemente) sind Energie | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 55 | 91 | im toten Körper entstehen Wärme und Energie | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 58 | 91 | Stoffwechsel ist Energiegewinnung | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 59 | 4 | ohne Energie kein Stoffwechsel | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 60 | 13 | während des Lebens sammelt man Energie, nach dem Tod verwest man mit Hilfe dieser Energie | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 61 | 12,91 | Stoffe aus toten Körpern werden in Energie umgewandelt | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 62 | 37 | beim Leben strahlt man Energie aus | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 63 | 31 | Wärme wird durch Energie erzeugt | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Code-Nr. der KSA | Code-Nr. der GV | B1 Der Körper und damit auch das Blut eines gesunden Menschen ist immer zwischen 36 und 37 Grad Celsius warm. Versuche zu erklären, woher diese Wärme stammt. | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SII | alle Nat.-Intr. Ja | alle Nat.-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SII mit LK Bio | alle SII ohne LK Bio |
| | | Probandenanzahl | 394 | 195 | 199 | 85 | 84 | 84 | 141 | 276 | 118 | 137 | 146 | 283 | 111 | 68 | 73 |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 54 | 26 | 28 | 20 | 9 | 10 | 15 | 28 | 26 | 13 | 22 | 35 | 19 | 4 | 11 |
| | | <u>längere Zeit</u> über die Frage nachgedacht | 130 | 51 | 79 | 32 | 34 | 29 | 35 | 85 | 45 | 45 | 50 | 95 | 35 | 17 | 18 |
| | | <u>nicht lange</u> über die Frage nachgedacht | 210 | 118 | 92 | 33 | 41 | 45 | 91 | 163 | 47 | 79 | 74 | 153 | 57 | 47 | 44 |
| | | Frage nicht beantwortet | 37 | 19 | 18 | 18 | 3 | 8 | 8 | 16 | 21 | 8 | 12 | 20 | 17 | 3 | 5 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 42 | 22 | 20 | 14 | 9 | 9 | 10 | 25 | 17 | 17 | 11 | 28 | 14 | 5 | 5 |
| 6 | 35,43 | durch das Verbrennen von Zucker/Fett/Nahrung/verschiedener Stoffe entsteht Wärme | 90 | 55 | 35 | 6 | 24 | 33 | 27 | 71 | 19 | 34 | 46 | 80 | 10 | 9 | 18 |
| 3 | 75,43 | durch das (schnell) fließende/bewegende Blut/Blutkörperchen/Blutplättchen in Adern; durch Blutkreislauf | 44 | 15 | 29 | 8 | 13 | 15 | 8 | 32 | 12 | 19 | 10 | 29 | 15 | 6 | 2 |
| 13 | 75,43 | durch Bewegung des Menschen/Körperbewegung/Bewegung/Sport | 34 | 13 | 21 | 7 | 18 | 4 | 5 | 24 | 10 | 9 | 9 | 18 | 16 | 3 | 2 |
| 36 | 43 | durch Stoffwechsel; Wärme durch exotherme Oxidation in Mitochondrien; durch chemischen Reaktionen | 26 | 14 | 12 | 0 | 1 | 1 | 24 | 23 | 3 | 14 | 9 | 23 | 3 | 14 | 10 |
| 19 | 1,12 | Nährstoffe werden in Energie umgewandelt /Nahrung wird in Energie umgewandelt/Stoffwechsel erzeugt aus Nahrung Energie | 20 | 8 | 12 | 1 | 2 | 8 | 9 | 16 | 4 | 6 | 6 | 12 | 8 | 6 | 3 |
| 51 | 91,43 | Wärme durch Entstehung und Verbrauch von Energie | 13 | 2 | 11 | 0 | 4 | 3 | 6 | 8 | 5 | 9 | 4 | 13 | 0 | 3 | 3 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------------|--|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|---|
| 39 | 10,30 | Energie wird in Wärme umgewandelt | 12 | 7 | 5 | 0 | 4 | 1 | 7 | 8 | 4 | 4 | 6 | 10 | 2 | 4 | 3 |
| 20 | 6,43 | Energie wird verbrannt > Wärme | 11 | 4 | 7 | 1 | 2 | 4 | 4 | 9 | 2 | 3 | 8 | 11 | 0 | 0 | 4 |
| 32 | 53,10,33,43 | bei Energieumwandlung geht Energie in Form von Wärme verloren | 11 | 7 | 4 | 0 | 1 | 1 | 9 | 9 | 2 | 3 | 5 | 8 | 3 | 5 | 4 |
| 2 | 75 | durch das pumpende/schlagende Herz | 10 | 5 | 5 | 6 | 2 | 1 | 1 | 8 | 2 | 2 | 5 | 7 | 3 | 1 | 0 |
| 11 | 43 | Organe arbeiten;Körper arbeitet (Anstrengung) | 8 | 0 | 8 | 2 | 2 | 3 | 1 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 1 |
| 29 | 75,43 | Bewegung der Organe/Muskeln; Muskelkontraktionen; Muskelbewegungen | 8 | 4 | 4 | 0 | 1 | 1 | 6 | 6 | 2 | 3 | 1 | 4 | 4 | 5 | 1 |
| 14 | 13,44 | durch das Sonnenlicht; von der Sonne | 7 | 4 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 5 | 2 | 2 | 4 | 6 | 1 | 0 | 1 |
| 21 | 2,77 | Wärme stammt aus Energie in der Nahrung | 6 | 5 | 1 | 4 | 0 | 0 | 2 | 3 | 3 | 0 | 4 | 4 | 2 | 0 | 2 |
| 35 | 55 | Reibung erzeugt Wärme | 6 | 1 | 5 | 0 | 2 | 0 | 4 | 5 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 3 | 1 |
| 8 | 13 | durch die Außentemperatur/von außen | 5 | 3 | 2 | 3 | 0 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 0 | 1 |
| 30 | 43 | Zellatmung (ohne konkrete Hinweise) | 5 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 2 | 2 | 3 | 4 | 1 |
| 55 | 43 | bei der Gewinnung von ATP aus ADP entsteht Wärme (Zellatmung) | 5 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 5 | 4 | 1 | 2 | 3 | 5 | 0 | 3 | 2 |
| 1 | 31 | Energie erzeugt Wärme | 4 | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 |
| 33 | 45 | Wärme ist Energie | 4 | 1 | 3 | 0 | 0 | 1 | 3 | 4 | 0 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 |
| 61 | 2,13,77 | Wärme kommt zustande aus Energie der Nahrung | 4 | 1 | 3 | 0 | 4 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 13 | durch (warmes) Essen | 3 | 0 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| 42 | 43 | durch Verarbeitung von Nahrung entsteht Wärme | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| 52 | 3,91 | Energie wird verbraucht > Wärme entsteht | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 1 |
| 27 | 10,33,43 | durch Umwandlungen im Körper entstehen verschiedene Energieformen, u.a. auch Wärme | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 48 | 43 | durch Verarbeitung/Veratmung von Glucose | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 |
| 49 | 12 | Nahrung wird zu Energiespeicher ATP umgebaut | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| 53 | 78,43 | beim Aufspalten der Nahrung entsteht Wärme | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 |
| 59 | 25,43,77 | Wärme aus Energie, die bei der Zersetzung von Nahrung freigesetzt wird | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| 62 | 91,79,1 | Blutkreislauf erzeugt Energie | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 43 | durch Gebrauch von Nährstoffen entsteht Wärme | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 13 | durch die warme Luft | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 17 | Körperwärme wird durch Vitamine gestützt | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 43 | Herz filtert Blut > Wärme | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 43 | Herz/Körper wird wie Motor/Maschine warm | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 24 | 43 | durchs Leben | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 28 | 43 | durch verschiedene Knallgasreaktionen entsteht Wärme | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 31 | 10 | aus Bewegungsenergie wird Wärmeenergie | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 34 | 4 | Körper braucht immer Energie > diese Energie drückt sich auch in Wärme aus | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 38 | 34 | Wärme begünstigt Stoffwechsel | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------|--|------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|---------|-------------------|---------------------|----------|---------|---------|---------|--------------------|---------------------|
| 40 | 91,43 | Wärme stammt aus Energiegewinnung | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 41 | 2,91,60 | Stoffwechsel verbraucht Energie, diese wird in Wärme freigesetzt | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 46 | 25 | durch chemische Reaktionen wird Energie frei | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 47 | 2,23 | Energie, die in Nahrungsmitteln gespeichert wird, wird an den Körper weitergegeben | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 50 | 75 | Teilchenbewegung im Körper erzeugt Wärme | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 54 | 12,53,33 | nicht alle Nahrung kann in Bewegungsenergie umgewandelt werden > Rest Wärme | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 56 | 43 | Wärme entsteht durch die Freisetzung von Glucose | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 57 | # | Nahrung wird direkt in Wärme umgewandelt | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 58 | 15,22 | die Energie, die in ATP gespeichert ist, wird zur Erhöhung der Körpertemperatur genutzt | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | B2 Ein Raubvogel mit einem Gewicht von 1 kg frisst in einem Jahr ungefähr 10 kg Mäuse. Diese 10 kg Mäuse fressen wiederum 100 kg Getreidekörner. Ein Raubvogel nimmt also, wenn er Mäuse frisst, in einem Jahr die Energie auf, die in 100 kg Getreidekörnern steckt. Würde sich ein Raubvogel direkt von Getreidekörnern ernähren können, bräuchte er nur ca. 10 kg davon zu fressen. Die Energie von 90 kg Getreidekörnern könnte so gespart werden. Versuche, das zu erklären. | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SH | alle Nat-Intr. Ja | alle Nat-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SH mit LK Bio | alle SH ohne LK Bio |
| | | Probandenanzahl | 394 | 195 | 199 | 85 | 84 | 84 | 141 | 276 | 118 | 137 | 146 | 283 | 111 | 68 | 73 |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 83 | 38 | 45 | 26 | 20 | 19 | 18 | 47 | 36 | 23 | 27 | 50 | 33 | 5 | 13 |
| | | <u>längere Zeit</u> über die Frage nachgedacht | 154 | 68 | 86 | 43 | 36 | 29 | 46 | 110 | 44 | 59 | 56 | 115 | 39 | 22 | 24 |
| | | <u>nicht lange</u> über die Frage nachgedacht | 157 | 89 | 68 | 16 | 28 | 36 | 77 | 119 | 38 | 55 | 63 | 118 | 39 | 41 | 36 |
| | | Frage nicht beantwortet | 103 | 47 | 56 | 40 | 17 | 19 | 27 | 58 | 45 | 31 | 41 | 72 | 31 | 8 | 19 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 113 | 64 | 49 | 29 | 38 | 16 | 30 | 76 | 37 | 31 | 35 | 66 | 47 | 16 | 14 |
| 1 | 3,4,91 | Mäuse verbrauchen einen Teil der Energie zum Leben | 130 | 60 | 70 | 12 | 17 | 38 | 63 | 102 | 28 | 55 | 54 | 109 | 21 | 31 | 32 |
| 8 | # | spart Energie, weil nicht Mäuse suchen/fangen notwendig | 10 | 4 | 6 | 2 | 2 | 1 | 5 | 10 | 0 | 4 | 4 | 8 | 2 | 2 | 3 |
| 21 | 1,12 | Nahrung wird in Energie umgewandelt | 7 | 3 | 4 | 0 | 1 | 0 | 6 | 5 | 2 | 2 | 3 | 5 | 2 | 3 | 3 |
| 5 | # | Mäuse verbrauchen/nutzen auch etwas (ohne das Wort Energie zu nennen) | 6 | 2 | 4 | 0 | 4 | 1 | 1 | 5 | 1 | 6 | 0 | 6 | 0 | 1 | 0 |
| 12 | 10 | Energie der Mäuse wird in Bewegungsenergie umgewandelt | 5 | 4 | 1 | 0 | 2 | 1 | 2 | 4 | 1 | 2 | 2 | 4 | 1 | 1 | 1 |
| 16 | 6 | Energie wird verbrannt | 5 | 3 | 2 | 0 | 1 | 4 | 0 | 5 | 0 | 1 | 3 | 4 | 1 | 0 | 0 |
| 11 | 13,40 | ein Umweg kann gespart werden; direkte Energieweitergabe | 4 | 1 | 3 | 0 | 1 | 1 | 2 | 4 | 0 | 2 | 2 | 4 | 0 | 2 | 0 |
| 2 | 12 | Getreide wird (von den Mäusen) in Energie umgewandelt | 3 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 11,12,13 | Raubvögel können Körner nicht in Energie umwandeln | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 | 2 | 1 |
| 24 | 2,11,13 | Energie des Getreides unbrauchbar > Mäuse geben Vögeln bessere Energie | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 3 | 80,2 | Fleisch gibt nicht so viel Energie | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 9 | 15 | Mäuse können nicht alle Energie speichern/speichern nicht alle Energie | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|--|------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|---------|-------------------|---------------------|----------|---------|---------|---------|--------------------|---------------------|
| 19 | 12 | die von den Mäusen in Energie umgewandelte Nahrung wird nicht weitergegeben | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 |
| 22 | 5,3,91 | Mäuse bauen einen Teil der Energie im Magen ab/verdauen Energie für sich | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 26 | 13,53 | wenn Organismen Energie aufnehmen und verarbeiten, geht immer ein Teil in Wärme verloren | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 |
| 6 | 15 | Energie des Getreides ist in Mäusen zwischengespeichert | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 13,40 | Nahrungskette | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 10 | 5,13 | Mäuse geben Energie wieder in Form von Kot ab | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | # | Energiegehalt wird bei Verdauung abgebaut | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 10,11 | umgewandelte Energie der Maus ist nicht so wertvoll | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 91 | bei der Umwandlung von Fetten geht Energie verloren | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 91 | Energie geht verloren | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 25 | 13,11 | Vogel kann nicht Energie der Körner aufnehmen, braucht einen Vermittler | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Code-Nr. der KSA | Code-Nr. der GV | B4 Herabfallende Regentropfen besitzen eine bestimmte Menge Energie. Diese Bewegungsenergie kann man deutlich spüren, wenn Regentropfen auf unsere Haut treffen. Was passiert mit der Bewegungsenergie der Regentropfen, wenn die Tropfen auf unsere Haut stoßen? | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SH | alle Nat-Intr. Ja | alle Nat-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SH mit LK Bio | alle SH ohne LK Bio |
| | | Probandenanzahl | 394 | 195 | 199 | 85 | 84 | 84 | 141 | 276 | 118 | 137 | 146 | 283 | 111 | 68 | 73 |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 71 | 32 | 39 | 20 | 18 | 17 | 16 | 39 | 32 | 21 | 26 | 47 | 24 | 5 | 11 |
| | | <u>längere Zeit</u> über die Frage nachgedacht | 97 | 39 | 58 | 25 | 26 | 17 | 29 | 68 | 29 | 38 | 39 | 77 | 20 | 13 | 16 |
| | | <u>nicht lange</u> über die Frage nachgedacht | 226 | 124 | 102 | 40 | 40 | 50 | 96 | 169 | 57 | 78 | 81 | 159 | 67 | 50 | 46 |
| | | Frage nicht beantwortet | 67 | 32 | 35 | 24 | 18 | 15 | 10 | 38 | 29 | 20 | 31 | 51 | 16 | 5 | 5 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 88 | 31 | 57 | 32 | 24 | 7 | 25 | 62 | 26 | 27 | 30 | 57 | 31 | 9 | 16 |
| 15 | 10 | Bewegungsenergie wird in andere Energieformen (Verformungs und Lageenergie) umgewandelt | 43 | 23 | 20 | 0 | 3 | 21 | 19 | 35 | 8 | 19 | 19 | 38 | 5 | 9 | 10 |
| 3 | 91 | Bewegungsenergie ist weg/verschwindet/ist zu Ende/löst sich auf/kaputt/wird neutralisiert/geht verloren/verpufft | 31 | 15 | 16 | 6 | 8 | 2 | 15 | 17 | 14 | 13 | 12 | 25 | 6 | 7 | 8 |
| 6 | 5 | Energie platzt/springt auf/verteilt sich/spaltet sich in Teilchen | 31 | 20 | 11 | 8 | 6 | 8 | 9 | 22 | 9 | 9 | 11 | 20 | 11 | 6 | 3 |
| 1 | 13 | Energie dringt in Haut/geht auf Haut über/wird absorbiert | 19 | 12 | 7 | 2 | 3 | 3 | 11 | 15 | 4 | 7 | 8 | 15 | 4 | 6 | 5 |
| 8 | 5 | Bewegungsenergie wird gestoppt/abgebremst/beendet | 19 | 7 | 12 | 2 | 4 | 6 | 7 | 16 | 3 | 7 | 6 | 13 | 6 | 4 | 3 |
| 20 | 10 | aus Bewegungsenergie/Energie wird Wärme | 19 | 12 | 7 | 0 | 1 | 8 | 10 | 14 | 5 | 8 | 7 | 15 | 4 | 5 | 5 |
| 4 | 13,23 | Energie überträgt sich auf Körper/geht in den Körper | 18 | 11 | 7 | 3 | 7 | 1 | 7 | 9 | 9 | 8 | 3 | 11 | 7 | 4 | 3 |
| 24 | 25 | Energie wird frei | 16 | 6 | 10 | 0 | 4 | 2 | 10 | 15 | 1 | 4 | 8 | 12 | 4 | 3 | 7 |
| 18 | 26 | Energie geht nie verloren (Energieerhaltungssatz) | 12 | 9 | 3 | 0 | 2 | 2 | 8 | 11 | 1 | 2 | 7 | 9 | 3 | 4 | 4 |
| 22 | 10 | Energie wird zu Reibungsenergie umgewandelt | 11 | 7 | 4 | 0 | 0 | 1 | 10 | 6 | 5 | 5 | 4 | 9 | 2 | 3 | 7 |
| 23 | 10 | Energie wird umgewandelt (z. B. potentielle in kinetische Energie) | 11 | 7 | 4 | 0 | 0 | 4 | 7 | 10 | 1 | 4 | 4 | 8 | 3 | 2 | 5 |
| 13 | 5 | Energie wird gestoppt/gebremst | 9 | 3 | 6 | 1 | 6 | 2 | 0 | 5 | 4 | 2 | 4 | 6 | 3 | 0 | 0 |
| 30 | 31 | Energie leistet Verformungsarbeit am Regentropfen Nervenzellen/Hautzellen | 8 | 6 | 2 | 0 | 0 | 4 | 4 | 8 | 0 | 4 | 3 | 7 | 1 | 2 | 2 |
| 10 | 54 | Energie geht zurück in die Luft | 4 | 3 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 4 | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 0 |
| 11 | 31 | Energie löst Empfindung (Prickeln) aus | 3 | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------------|---|----|---|---|---|---|---|----|----|---|----|---|----|---|----|---|
| 7 | 15,19,82 | Energie wird in Muskeln gespeichert | 12 | 7 | 5 | 3 | 3 | 0 | 6 | 9 | 3 | 7 | 3 | 10 | 2 | 2 | 4 |
| 27 | 5,10,15,30 | Energie wird als Zucker (Glucose) gespeichert | 12 | 7 | 5 | 0 | 0 | 0 | 12 | 11 | 1 | 10 | 1 | 11 | 1 | 10 | 2 |
| 15 | 91 | Energie wird (später) verbraucht | 9 | 4 | 5 | 0 | 4 | 1 | 4 | 4 | 5 | 2 | 5 | 7 | 2 | 1 | 3 |
| 1 | 15,82 | Energie wird im Kopf/Gehirn gespeichert | 7 | 4 | 3 | 4 | 0 | 3 | 0 | 5 | 2 | 3 | 0 | 3 | 4 | 0 | 0 |
| 10 | 2,13 | befindet sich im Kot/Stuhlgang; wird ausgeschieden | 5 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 0 | 4 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 0 | 0 |
| 14 | 15,19 | in Vorratskammern im Körper | 5 | 2 | 3 | 4 | 1 | 0 | 0 | 5 | 0 | 1 | 2 | 3 | 2 | 0 | 0 |
| 25 | 15,19 | Energie wird zwischen Organen (in Fleisch) gespeichert | 5 | 3 | 2 | 0 | 0 | 4 | 1 | 5 | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 | 1 | 0 |
| 30 | 2,15,19 | in Fettzellen, weil Fett nicht verbrannt wird | 5 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 | 1 | 4 | 5 | 0 | 1 | 4 |
| 31 | 2,10,15,30 | als Glycogen in Leber/glucoseartige Verbindung | 5 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 5 | 4 | 1 | 4 | 1 | 5 | 0 | 3 | 2 |
| 32 | 15,19 | in Leber | 5 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 5 | 4 | 1 | 2 | 2 | 4 | 1 | 2 | 3 |
| 24 | 2,15 | Energie wird in Stärke (Speicherform) gespeichert | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 1 | 3 | 3 | 1 | 4 | 0 | 4 | 0 | 2 | 1 |
| 34 | 2,15 | Energie wird in Fett/Kohlenhydraten/Eiweißen gespeichert | 4 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| 9 | 5 | als kleine Körperchen/in kleinen Mengen gespeichert; Energie sind kleine Körperchen; Energie wird in Zellen zur Speicherung (in Teile) zersetzt | 3 | 0 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 15,19 | Energie wird im Herz gespeichert | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 13 | 83 | Energie kommt aus dem Magen/wird aus dem Magen gepumpt/fließt vom Magen zum ... | 3 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 |
| 18 | 6 | Energie wird verbrannt | 3 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 |
| 37 | 2,15 | in Form von Stärke gespeichert | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 2 |
| 26 | 2,15,30,10 | Energie wird als Eiweiß gespeichert | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| 33 | 12 | Nahrung wird mit Enzymen zu Energie umgewandelt | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 |
| 2 | 10,30 | aus Energie wird Blut | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 13 | überschüssige Energie wird durch Toben abgegeben | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 15,19 | Energie wird in bestimmten Zonen gespeichert | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 9 | Fett kann als Energie genutzt werden | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 91 | Energie wird nicht gespeichert, da Energieaufnahme und Energieverbrauch gleich hoch ist | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 2,15,90 | in Wasser wird Energie gespeichert | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | # | überschüssige Energie wird in Energie umgewandelt | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | 2,15 | in Enzymen | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|---|------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|---------|-------------------|---------------------|----------|---------|---------|---------|--------------------|---------------------|
| 36 | 15 | in Form von Hitze | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 38 | 15,19 | in Mitochondrien gespeichert | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | |
| 39 | 5 | Energie wird in Bestandteile aufgelöst | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Code-Nr. der KSA | Code-Nr. der GV | B6 Wie gelangt die Energie aus der Nahrung in den Körper, z.B. in die Muskeln? | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SH | alle Nat-Intr. Ja | alle Nat-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SH mit LK Bio | alle SH ohne LK Bio |
| | | Probandenanzahl | 394 | 195 | 199 | 85 | 84 | 84 | 141 | 276 | 118 | 137 | 146 | 283 | 111 | 68 | 73 |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 68 | 26 | 42 | 24 | 15 | 14 | 15 | 39 | 29 | 16 | 28 | 44 | 24 | 4 | 11 |
| | | <u>längere Zeit</u> über die Frage nachgedacht | 87 | 41 | 46 | 20 | 29 | 14 | 24 | 56 | 31 | 29 | 34 | 63 | 24 | 11 | 13 |
| | | <u>nicht lange</u> über die Frage nachgedacht | 239 | 128 | 111 | 41 | 40 | 56 | 102 | 181 | 58 | 92 | 84 | 176 | 63 | 53 | 49 |
| | | Frage nicht beantwortet | 41 | 18 | 23 | 20 | 10 | 7 | 4 | 23 | 18 | 12 | 16 | 28 | 13 | 2 | 2 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 68 | 30 | 38 | 9 | 12 | 23 | 24 | 43 | 25 | 25 | 26 | 51 | 17 | 7 | 17 |
| 2 | 29 | Energie wird durch Adern (mit dem Blut/Blutkörpern) transportiert/kommt durch Blutgefäße; Energie fließt durch den Körper | 182 | 96 | 86 | 39 | 48 | 35 | 60 | 137 | 45 | 65 | 62 | 127 | 55 | 29 | 31 |
| 1 | 7,5 | Energie wird von der Nahrung geteilt/getrennt/gezogen/gefiltert/ gesammelt | 38 | 20 | 18 | 5 | 5 | 13 | 15 | 27 | 11 | 12 | 14 | 26 | 12 | 9 | 6 |
| 5 | 1,12,91 | Energie entwickelt sich/entsteht aus Nahrung; Nahrung wird zu Energie verdaut/umgewandelt/aufgelöst | 20 | 7 | 13 | 4 | 1 | 3 | 12 | 15 | 5 | 7 | 7 | 14 | 6 | 5 | 7 |
| 4 | 8,91,1 | durch Verbrennung entsteht Energie (aus Nahrung) | 19 | 12 | 7 | 1 | 6 | 7 | 5 | 16 | 3 | 6 | 11 | 17 | 2 | 2 | 3 |
| 8 | 83 | Energie wird durch den Magen (zu den Muskeln geleitet); Energie gelangt durch den Magen | 10 | 6 | 4 | 6 | 2 | 0 | 2 | 9 | 1 | 4 | 3 | 7 | 3 | 1 | 1 |
| 16 | # | energiereiche Stoffe (Glucose) werden in Form von ATP nutzbar gemacht | 10 | 2 | 8 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 0 | 6 | 3 | 9 | 1 | 6 | 4 |
| 19 | 10 | Energie wird umgewandelt | 5 | 1 | 4 | 0 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 0 | 1 | 1 | 4 | 0 | 1 |
| 22 | 9 | Nahrungsbestandteile werden (in Muskeln) als Energie benutzt | 5 | 2 | 3 | 0 | 0 | 2 | 3 | 5 | 0 | 3 | 2 | 5 | 0 | 3 | 0 |
| 11 | 17 | Vitamine sind Energie-Quelle | 4 | 2 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 12 | 91 | Energie wird verbraucht | 4 | 0 | 4 | 1 | 2 | 1 | 0 | 4 | 0 | 2 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 13,2 | durch Zucker bekommt der Körper Energie; Zucker ist Energieträger; Proteine sind Energiespeicher | 3 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 83 | Energie gelangt durch den Darm (Darmwand) ins Blut | 3 | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 2,13,16 | Obst ist gut, um Energie zu bekommen; meiste Energie ist in Obst | 3 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| 15 | 2,13 | energiereiche Stoffe gelangen in den Körper | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 1 |
| 21 | 9 | ATP ist Energie; Nahrung ist Energie | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 26 | 22 | ATP ist Energiespeicher | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 2 | 0 | 3 | 3 | 0 | 1 | 2 |
| 7 | 2,13 | durch Nährstoffe (aus Nahrung) werden die Muskeln mit Energie versorgt | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 25 | in Muskeln wird Energie freigesetzt | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 |
| 18 | 5,11 | durch Verdauung wird Energie in nutzbare Formen aufgespalten | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 20 | 5,29 | Energie wird durch Energie-Carrier transportiert | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 |
| 24 | 25 | bei Umwandlungs- und Verdauungsprozessen wird Energie frei | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 |
| 25 | 21 | Nahrung wird in ATP umgewandelt | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|---|------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|----------|-------------------|---------------------|----------|---------|---------|---------|---------------------|----------------------|
| 3 | 15,19 | Energie wird in Muskeln gespeichert | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 29 | durch das Knochenmark wird Energie transportiert | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 29 | durch das Gehirn wird Energie zu den Muskeln verteilt | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 27 | 91 | bei der Atmungskette wird Energie gewonnen | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 28 | 5,21 | Vorprodukte der Energie wurden zu ATP | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 29 | 2 | um Energie nutzen zu können, muss Nahrung zerteilt werden | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 30 | 10,30 | Energie der Nahrung wird in Stoffe umgewandelt, die in Muskeln gelangen | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 31 | 24 | Energie ist in chemischen Verbindungen | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 32 | 29 | Energie wird in Muskeln gelenkt | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 33 | 10,30 | Energie wird zu Glucose umgewandelt | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | | Häufig wird in den Antworten der Frage B6 nicht das Wort Energie benutzt, sondern nur das Wort "sie", wobei - der Fragestellung nach beurteilt - immer Energie gemeint sein dürfte. | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Code-Nr. der KSA | Code-Nr. der GV | B7 In Misthaufen leben viele Lebewesen, die Abfall zu Humus umwandeln. Wenn man an kalten Wintertagen in einem solchen Misthaufen die Temperatur misst, stellt man fest, dass es trotz niedriger Außentemperatur im Inneren sehr warm ist. Woher stammt die Wärme? | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SII | alle Nat-Intr. Ja | alle Nat-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SII mit LK Bio | alle SII ohne LK Bio |
| | | Probandenanzahl | 394 | 195 | 199 | 85 | 84 | 84 | 141 | 276 | 118 | 137 | 146 | 283 | 111 | 68 | 73 |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 82 | 40 | 42 | 24 | 15 | 18 | 25 | 51 | 31 | 20 | 33 | 53 | 29 | 10 | 15 |
| | | längere Zeit über die Frage nachgedacht | 71 | 30 | 41 | 17 | 20 | 11 | 23 | 47 | 24 | 28 | 24 | 52 | 19 | 10 | 13 |
| | | nicht lange über die Frage nachgedacht | 241 | 125 | 116 | 44 | 49 | 55 | 93 | 178 | 63 | 89 | 89 | 178 | 63 | 48 | 45 |
| | | Frage nicht beantwortet | 60 | 34 | 26 | 22 | 6 | 15 | 17 | 37 | 23 | 15 | 25 | 40 | 20 | 7 | 10 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 29 | 16 | 13 | 12 | 10 | 3 | 4 | 17 | 12 | 13 | 7 | 20 | 9 | 2 | 2 |
| 3 | 43 | (auch kleine) Lebewesen/Tiere geben (wie wir) beim Leben Wärme ab/haben eine Körpertemperatur | 69 | 38 | 31 | 19 | 17 | 16 | 17 | 48 | 21 | 23 | 29 | 52 | 17 | 4 | 13 |
| 4 | 43 | Lebewesen stellen bei Umwandlungsprozessen Wärme her | 46 | 22 | 24 | 1 | 10 | 12 | 23 | 32 | 14 | 19 | 22 | 41 | 5 | 14 | 9 |
| 7 | 75,43 | durch die Bewegung der Lebewesen | 40 | 13 | 27 | 5 | 10 | 12 | 13 | 29 | 11 | 10 | 21 | 31 | 9 | 4 | 9 |
| 1 | 43 | das Arbeiten/Leben/Tätigkeiten der Tiere erzeugt Wärme (Humusherstellung) | 30 | 10 | 20 | 2 | 7 | 5 | 16 | 23 | 7 | 9 | 10 | 19 | 11 | 7 | 9 |
| 2 | # | kommt von Lebewesen/Tieren | 23 | 10 | 13 | 9 | 6 | 2 | 6 | 18 | 5 | 8 | 12 | 20 | 3 | 3 | 3 |
| 13 | 43 | Verwesung/Stoffwechsel/Verdauung/Zersetzungsprozesse erzeugen Wärme | 21 | 13 | 8 | 1 | 2 | 6 | 12 | 14 | 7 | 10 | 5 | 15 | 6 | 7 | 5 |
| 6 | # | wenn viele Lebewesen dicht zusammenstehen entsteht Wärme; wenn viele aufeinanderliegen und gedrängt sind, entsteht Wärme | 12 | 6 | 6 | 6 | 1 | 3 | 2 | 7 | 5 | 6 | 2 | 8 | 4 | 1 | 1 |
| 21 | 43 | bei Gärung/chemischen Prozessen entsteht Wärme | 12 | 5 | 7 | 0 | 0 | 5 | 7 | 12 | 0 | 5 | 3 | 8 | 4 | 7 | 0 |
| 26 | 91,10 | Lebewesen erzeugen Energie, die in Wärme umgesetzt wird | 12 | 5 | 7 | 0 | 2 | 5 | 5 | 10 | 2 | 6 | 3 | 9 | 3 | 3 | 2 |
| 35 | 25 | Wärme von freigesetzter Energie | 10 | 6 | 4 | 0 | 7 | 0 | 3 | 8 | 2 | 8 | 2 | 10 | 0 | 3 | 0 |
| 31 | 55 | durch Reibung entsteht Wärme | 9 | 4 | 5 | 1 | 5 | 0 | 3 | 6 | 3 | 3 | 3 | 6 | 3 | 3 | 0 |
| 12 | 91,33,43 | Energieverbrauch erzeugt Wärme | 8 | 3 | 5 | 0 | 1 | 2 | 5 | 7 | 1 | 2 | 3 | 5 | 3 | 2 | 3 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|---|------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|---------|-------------------|---------------------|----------|---------|---------|---------|--------------------|---------------------|
| 32 | 10,53,43 | bei Umwandlungsprozessen wird ein Teil der Energie in Wärme frei; Endprodukte energieärmer als Ausgangsstoffe | 7 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 0 | 1 | 1 | 2 | 5 | 3 | 4 |
| 25 | 60,43 | zur Umwandlung der Abfälle müssen die Lebewesen Energie aufwenden > Wärme | 5 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 5 | 4 | 1 | 4 | 0 | 4 | 1 | 4 | 1 |
| 20 | 13,91,42 | Lebewesen (Bakterien) brauchen viel Wärme, um Energie herzustellen | 4 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0 | 3 | 0 | 3 | 1 | 3 | 1 |
| 18 | 25,77,33 | Wärme stammt aus Energie, die bei Herstellungsvorgängen frei wird | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 23 | 10,30 | Energie wird zu Wärme umgewandelt | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 3 | 0 | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | 1,91,43,12 | aus Mist wird von den Tieren Energie gewonnen, dabei entsteht Wärme | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 16 | 1,91,79 | bei der Humusherstellung entsteht in den Lebewesen Energie | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 27 | # | von der Energie der Lebewesen | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 30 | 43 | durch Fressen wird Wärme erzeugt | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 34 | 6,43 | durch Verbrennung von Energie entsteht Wärme | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 8 | 43 | durch den Stoffwechsel der Lebewesen | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 26 | Energie geht nicht verloren/Erhaltungssatz | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 17 | 43,13 | nicht gebrauchte Energie wird von Lebewesen in Wärme abgegeben | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 19 | 91,79 | bei Umwandlungsprozessen entsteht Energie | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 24 | # | Wärme stammt aus verwesenen Resten | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 29 | # | Abfall wird zu Wärme durch Lebewesen | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 33 | 35,43 | durch Verbrennung von Humus entsteht Wärme | 4 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 4 | 0 | 0 | 1 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Code-Nr. der KSA | Code-Nr. der GV | B8 Im Sommer laufen in unserer Haut bestimmte chemische Vorgänge ab, die zur Bräunung der Haut führen. Welche Aufgabe hat die Sonnenenergie bei der Braunfärbung der Haut? Erkläre bitte so genau wie möglich! | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SH | alle Nat-Intr. Ja | alle Nat-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SH mit LK Bio | alle SH ohne LK Bio |
| | | Probandenzahl | 394 | 195 | 199 | 85 | 84 | 84 | 141 | 276 | 118 | 137 | 146 | 283 | 111 | 68 | 73 |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 117 | 52 | 65 | 38 | 28 | 14 | 37 | 78 | 39 | 39 | 48 | 87 | 30 | 11 | 26 |
| | | <u>längere Zeit</u> über die Frage nachgedacht | 99 | 51 | 48 | 22 | 21 | 28 | 28 | 69 | 30 | 30 | 33 | 63 | 36 | 16 | 12 |
| | | <u>nicht lange</u> über die Frage nachgedacht | 178 | 92 | 86 | 25 | 35 | 42 | 76 | 129 | 49 | 68 | 65 | 133 | 45 | 41 | 35 |
| | | Frage nicht beantwortet | 100 | 47 | 53 | 38 | 21 | 12 | 29 | 64 | 36 | 32 | 47 | 79 | 21 | 9 | 20 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 54 | 32 | 22 | 20 | 12 | 10 | 12 | 34 | 20 | 16 | 13 | 29 | 25 | 6 | 6 |
| 18 | 31 | Strahlung löst Bräunung aus/leitet sie ein; Sonnenlicht/UV/ Sonnenenergie rufen sie hervor/reizt zur Bräunung der Haut/ist ein Reiz zur Bräunung | 84 | 38 | 46 | 2 | 18 | 25 | 39 | 63 | 21 | 35 | 29 | 64 | 20 | 19 | 20 |
| 15 | 31 | Farbpigmente werden durch Sonnenenergie braun gefärbt; Sonnenstrahlung färbt Pigmente/ändert Farbe der Pigmente; Sonnentralen verändern (stark) Pigmente/Zellen; Energiestrahlen UV-A/B bräunen Haut | 56 | 25 | 31 | 4 | 11 | 11 | 30 | 42 | 14 | 17 | 23 | 40 | 16 | 14 | 16 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------|---|-------------|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----------------|--------------------------|----------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------------|-----------------------------|
| 9 | # | Sonne/Wärme/Sonnenenergie/Sonnenstrahlen brennt(en) die Haut/Hautpartikel/verbrennt Zellen (wie Toaster) > braun | 26 | 14 | 12 | 4 | 11 | 8 | 3 | 17 | 9 | 10 | 7 | 17 | 9 | 2 | 1 |
| 16 | # | Wärme ist für Bräune verantwortlich; Körper wird warm und so braun | 11 | 8 | 3 | 5 | 1 | 4 | 1 | 9 | 2 | 5 | 1 | 6 | 5 | 1 | 0 |
| 19 | 31 | durch die Sonnenstrahlung kommen Pigmente zum Vorschein/werden Pigmente gebildet | 8 | 4 | 4 | 0 | 2 | 3 | 3 | 6 | 2 | 1 | 3 | 4 | 4 | 2 | 1 |
| 4 | 31 | Sonne weckt Pigmente, die sich dann braun färben/Sonne regt Pigmente/Farbstoffe an | 7 | 2 | 5 | 3 | 0 | 1 | 3 | 7 | 0 | 3 | 4 | 7 | 0 | 1 | 2 |
| 14 | 31,50 | UV-Licht ist energiereich und sorgt für Bräunung | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 1 |
| 24 | # | Sonnenenergie führt zu Vitamin(D)-Bildung | 3 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 |
| 26 | # | Sonnenenergie ist Aktivierungsenergie für Bräunung | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 |
| 30 | # | Blut wird durch Sonne warm > dadurch wird Haut braun | 3 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 1 | 31 | Sonnenenergie färbt die Haut | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 12 | # | Sonnenenergie gibt ein bisschen Energie zur Färbung/gibt den Hauptanteil an Energie zur Färbung | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 84 | Sonnenstrahlen wandeln sich in Sonnenenergie um | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 60 | Braunfärbung benötigt Energie | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 5 | Sonnenenergie hat schädliche Substanzen, gegen die sich die Haut schützt | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 31 | Sonnenenergie regt Durchblutung an > Bräune | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 21 | 15 | braune Haut nimmt Sonnenenergie auf und verhindert so das Überhitzen des Körpers | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 23 | 31 | Sonnenenergie zerstört die weißen Pigmente > braune werden dann gebildet | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 29 | # | im Winter hat Sonne wenig Energie > keine Bräunung | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 31 | 84 | Pigmente wandeln Sonnenstrahlen in chemische Energie um | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Code-Nr. der KSA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Code-Nr. der GV | | B9 Um Energie aufzunehmen, essen Menschen oft Pflanzen oder Teile von Pflanzen (z.B. Salat oder Getreidekörner im Brot). In Pflanzen ist also Energie enthalten. Pflanzen "essen" aber nicht. Wie gelangt dennoch Energie in die Pflanzen? | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SII | alle Nat-Intr. Ja | alle Nat-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SII mit LK Bio | alle SII ohne LK Bio |
| | | Probandenzahl | 394 | 195 | 199 | 85 | 84 | 84 | 141 | 276 | 118 | 137 | 146 | 283 | 111 | 68 | 73 |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 50 | 27 | 23 | 13 | 9 | 13 | 15 | 31 | 19 | 9 | 20 | 29 | 21 | 3 | 12 |
| | | <u>längere Zeit</u> über die Frage nachgedacht | 37 | 18 | 19 | 12 | 11 | 4 | 10 | 20 | 17 | 16 | 12 | 28 | 9 | 3 | 7 |
| | | <u>nicht lange</u> über die Frage nachgedacht | 307 | 150 | 157 | 60 | 64 | 67 | 116 | 225 | 82 | 112 | 114 | 226 | 81 | 62 | 54 |
| | | Frage nicht beantwortet | 25 | 17 | 8 | 15 | 2 | 7 | 1 | 16 | 9 | 3 | 10 | 13 | 12 | 1 | 0 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 4 | 1 | 3 | 2 | 0 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| 20 | 9 | Glucose/Traubenzucker ist Energie (reine Energie) | 140 | 68 | 72 | 0 | 22 | 23 | 95 | 110 | 30 | 63 | 62 | 125 | 15 | 51 | 44 |
| 3 | 41,13 | durch die Sonne/das Sonnenlicht gelangt Energie in die Pflanzen | 104 | 56 | 48 | 9 | 39 | 26 | 30 | 66 | 38 | 29 | 34 | 63 | 41 | 13 | 17 |
| 12 | 13,15 | durch Sonneneinstrahlung speichern sie Energie | 104 | 59 | 45 | 11 | 20 | 35 | 38 | 79 | 25 | 36 | 42 | 78 | 26 | 18 | 20 |
| 1 | 89,90,13,2 | durch Wasser/Grundwasser (Wasser ist Energie) | 80 | 34 | 46 | 23 | 23 | 19 | 15 | 53 | 27 | 23 | 31 | 54 | 26 | 3 | 12 |
| 2 | 52,13 | durch den Humus, Boden, Dünger, die Erde (ohne weitere Angaben) | 41 | 21 | 20 | 9 | 13 | 14 | 5 | 29 | 12 | 11 | 14 | 25 | 16 | 1 | 4 |
| 4 | 13,52 | durch die/aus der Wurzel | 27 | 15 | 12 | 12 | 7 | 3 | 5 | 19 | 8 | 9 | 10 | 19 | 8 | 2 | 3 |
| 16 | 88 | Pflanzen sind Energie; Materie der Pflanzen ist Energie | 20 | 5 | 15 | 9 | 5 | 4 | 2 | 16 | 4 | 5 | 6 | 11 | 9 | 0 | 2 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------------|---|----|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|
| 8 | 13,46 | durch Wärme aus der Luft/von der Sonne | 12 | 7 | 5 | 2 | 3 | 2 | 5 | 11 | 1 | 6 | 4 | 10 | 2 | 3 | 2 |
| 11 | 2,13,52 | durch Nährstoffe(Glucose)/Nährsalze/Mineralien (aus dem Boden) bekommen sie Energie (mit Wurzeln aufgenommen) | 12 | 5 | 7 | 11 | 1 | 0 | 0 | 9 | 3 | 9 | 2 | 11 | 1 | 0 | 0 |
| 28 | 8,42 | Energie durch Verbrennen von Zucker mit Hilfe von Wärme | 9 | 2 | 7 | 0 | 1 | 2 | 6 | 7 | 2 | 3 | 4 | 7 | 2 | 2 | 4 |
| 9 | 13,54 | durch Luft (Sauerstoff/Kohlendioxid) | 11 | 6 | 5 | 4 | 3 | 3 | 1 | 8 | 3 | 4 | 5 | 9 | 2 | 0 | 1 |
| 26 | 8,1,91 | durch Verbrennen von Mineralien entsteht Energie | 7 | 3 | 4 | 0 | 1 | 3 | 3 | 6 | 1 | 6 | 0 | 6 | 1 | 3 | 0 |
| 19 | 13 | durch/über Photosynthese (oder nur Beschreibung der Abläufe) gelangt/kommt Energie in Pflanzen/kriegen Pflanzen Energie | 8 | 2 | 6 | 1 | 1 | 0 | 6 | 5 | 3 | 3 | 5 | 8 | 0 | 2 | 4 |
| 13 | 13,7,41,5 | Energie wird aus Sonnenstrahlen gezogen/gesaugt/gefiltert | 5 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 0 | 2 |
| 37 | 52,17 | Vitamine aus Boden | 5 | 3 | 2 | 0 | 1 | 2 | 2 | 5 | 0 | 0 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| 7 | 12 | Nährstoffe werden in Energie (durch Sonne) umgewandelt | 4 | 1 | 3 | 2 | 0 | 1 | 1 | 4 | 0 | 3 | 1 | 4 | 0 | 1 | 0 |
| 22 | 10,30 | aus Energie wird Cellulose gewonnen | 4 | 3 | 1 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 14 | 52,73,13 | Sonne strahlt Energie auf Boden in die Erde, Pflanzen nehmen sie | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 21 | 1,87,91 | Pflanzen stellen Energie selber her (durch Zellteilung) | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 1 |
| 31 | 5 | Energie ist in Wasser als Nährstoff gelöst | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 | 1 | 1 |
| 30 | 2 | Zucker enthält Energie | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| 35 | 24,2 | chemische Energie der Nährstoffe wird in Dissimilation nutzbar gemacht | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 5 | # | über die Blätter kommen Nährstoffe aus der Luft | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 89,90,13,2 | durch das Regenwasser erhalten sie Energie | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 91,84 | Pflanzen bauen Energie aus Sonnenlicht auf | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 23 | 86,15 | in Pflanzen ist (so gut wie) keine Energie vorhanden | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 29 | 12 | Mitochondrien wandeln Traubenzucker in Energie | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 36 | 12 | Mineralstoffe werden in Energie umgewandelt | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 39 | # | durch Bakterien aus dem Boden | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

| Code-Nr. der KSA | Code-Nr. der GV | B10 Quallen sind fast völlig durchsichtige Meerestiere. Sie schwimmen meist in den oberen Wasserschichten. Für ihre Bewegung benötigen sie Energie. Beschreibe, wo die Energie in den Tieren steckt. | alle | alle Jungen | alle Mädchen | alle Jg. 5 | alle Jg. 8 | alle Jg. 10 | alle SII | alle Nat.-Intr. Ja | alle Nat.-Intr. Nein | GY Stadt | GY Land | alle GY | alle GS | alle SII mit LK Bio | alle SII ohne LK Bio |
|------------------|-----------------|---|------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|----------|--------------------|----------------------|----------|---------|---------|---------|---------------------|----------------------|
| | | | 394 | 195 | 199 | 85 | 84 | 84 | 141 | 276 | 118 | 137 | 146 | 283 | 111 | 68 | 73 |
| | | Probandenanzahl | 394 | 195 | 199 | 85 | 84 | 84 | 141 | 276 | 118 | 137 | 146 | 283 | 111 | 68 | 73 |
| | | Keine Angaben über die Länge der Bearbeitungszeit | 126 | 60 | 66 | 34 | 23 | 25 | 44 | 81 | 45 | 30 | 57 | 87 | 39 | 12 | 32 |
| | | <u>längere Zeit</u> über die Frage nachgedacht | 105 | 43 | 62 | 17 | 26 | 20 | 42 | 76 | 29 | 47 | 31 | 78 | 27 | 29 | 13 |
| | | <u>nicht lange</u> über die Frage nachgedacht | 163 | 92 | 71 | 34 | 35 | 39 | 55 | 119 | 44 | 60 | 58 | 118 | 45 | 27 | 28 |
| | | Frage nicht beantwortet | 128 | 67 | 61 | 34 | 23 | 22 | 49 | 80 | 48 | 37 | 60 | 97 | 31 | 17 | 32 |
| | | Frage unverständlich beantwortet oder ohne verwertbaren Inhalt | 61 | 35 | 26 | 7 | 12 | 20 | 22 | 44 | 17 | 21 | 23 | 44 | 17 | 15 | 7 |
| 10 | 85,13 | bekommen Energie vom Licht (Haut wie Solarzellen); wandeln Licht in Bewegungsenergie um | 30 | 13 | 17 | 1 | 6 | 4 | 19 | 24 | 6 | 12 | 14 | 26 | 4 | 9 | 10 |
| 1 | 28,15 | Energie ist im Körper gleichmäßig verteilt/überall/in jeder Zelle | 27 | 11 | 16 | 1 | 4 | 9 | 13 | 20 | 7 | 10 | 9 | 19 | 8 | 7 | 6 |
| 3 | 82,15,19 | in den Tentakeln/Fäden/Schwanz/Fangarmen | 26 | 9 | 17 | 13 | 5 | 4 | 4 | 17 | 9 | 7 | 9 | 16 | 10 | 1 | 3 |
| 8 | 15 | im Körper/in Körperflüssigkeit gespeichert (ohne genaue Ortsangabe); im „Glibber“ | 17 | 7 | 10 | 1 | 4 | 3 | 9 | 14 | 3 | 6 | 5 | 11 | 6 | 5 | 4 |
| 4 | 15,19 | im Zentrum; in der Mitte; im Inneren der Qualle | 16 | 9 | 7 | 9 | 4 | 1 | 2 | 12 | 4 | 4 | 3 | 7 | 9 | 1 | 1 |
| 6 | 15,19,82 | die Energie steckt in den Muskeln | 16 | 10 | 6 | 2 | 6 | 6 | 2 | 13 | 3 | 10 | 1 | 11 | 5 | 2 | 0 |
| 5 | 15,19, 82 | in den Teilen, die zur Fortbewegung nötig sind (Arme, Beine, Füße, Muskeln) | 9 | 3 | 6 | 4 | 2 | 3 | 0 | 7 | 2 | 4 | 2 | 6 | 3 | 0 | 0 |
| 9 | 2 | in Nährstoffen ist Energie | 8 | 5 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 8 | 0 | 4 | 4 | 8 | 0 | 1 | 2 |
| 27 | 15,19 | in den dunklen Streifen/farbigen Punkten/Augen | 8 | 3 | 5 | 4 | 4 | 0 | 0 | 5 | 3 | 4 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 11 | 15,19 | ist im Quallenkopf (nicht Tentakeln) gespeichert | 7 | 3 | 4 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 | 3 | 4 | 0 | 4 | 3 | 2 | 0 |
| 13 | 13,90,2 | im Wasser, das sie aufnehmen | 6 | 3 | 3 | 0 | 4 | 0 | 2 | 2 | 4 | 2 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| 14 | 15,19 | in feinen Adern, die durch den Körper verlaufen/Kanalsystem | 5 | 2 | 3 | 0 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 4 | 1 | 1 | 0 |
| 18 | 39 | Energie ist nicht sichtbar | 5 | 2 | 3 | 0 | 0 | 1 | 4 | 2 | 3 | 1 | 4 | 5 | 0 | 2 | 2 |
| 17 | 15,19,82 | im (sich bewegenden) Blut (Bewegungsenergie)/rote Bereiche der Qualle | 4 | 3 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 4 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 20 | 76 | haben keine Energie (da sie sich treiben lassen) | 4 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 4 | 0 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 21 | 15,22 | in ATP/Energie-Speicher | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 1 | 3 | 1 | 4 | 0 | 3 | 1 |
| 24 | 15,19 | in den nicht durchsichtigen Teilen | 4 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 |
| 12 | 15,90,2 | im Wasser, aus dem die Qualle fast ausschließlich besteht | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | 0 | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| 15 | 19,15 | Energie kommt aus dem Herzen | 3 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 | 0 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 26 | 15,19 | in der Lunge; im Bauch | 3 | 2 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| 28 | 15,19 | in der Haut/Oberfläche | 3 | 0 | 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 |
| 19 | 15,19 | im Teil, der nicht Wasser ist | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 15,19 | haben Energiespeicherorgan | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 |
| 30 | 15,19 | in Nerven | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 31 | 2,15,19 | in Eiweiß | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 2 | 19,15 | im Gedächtnis/Gehirn | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 1,91 | durch Nahrung entwickelt sich Energie | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 15,5 | Quallen saugen die Energie von den Wasserpflanzen ab | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 15 | speichern Energie wie andere Tiere (ohne weitere Erklärung) | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 25 | 15,45 | speichern Energie in Wärme | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 29 | 19,15 | im Kreislauf | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 32 | 15 | speichern Energie in einem durchsichtigen Stoff | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 33 | 19,15 | am Rand | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

VI Übersicht über die 91 Grundvorstellungen zum Themenbereich "Energie im biologischen Kontext"

Erläuterungen zur Tabelle:

Grundvorstellungen, die aus naturwissenschaftlicher Sicht falsche Aussagen beinhalten, sind fett hervorgehoben.

Zahlen in eckigen Klammern verweisen bei einigen Grundvorstellungen darauf, dass sie einer übergeordneten Grundvorstellung zugeordnet werden können. Ein Fragezeichen gibt an, dass diese Zuordnung nicht zwingend ist.

Teiltabelle 1

| GV-Nummer | Inhalt der Grundvorstellung |
|-----------|--|
| 1. | Energie wird in Lebewesen/im Körper hergestellt (z.B. aus Nahrung). [91] |
| 2. | In Stoffen/Nahrung/Nahrungsbestandteilen [ATP vergl. 22] ist Energie enthalten/gespeichert. |
| 3. | Energie wird für Lebensvorgänge verbraucht. [91] |
| 4. | Lebewesen benötigen zum Überleben/für Lebensvorgänge Energie. |
| 5. | Energie ist etwas "Stoffliches". |
| 6. | Energie wird verbrannt. |
| 7. | Energie ist ein eigener - quasi zusätzlicher - Bestandteil von Stoffen/Nahrung/Strahlung. [5?] |
| 8. | Durch Verbrennung von Nahrung/Nahrungsbestandteilen/Mineralstoffen entsteht Energie. [1, 91] |
| 9. | Nahrung/Nahrungsbestandteile/Stoffe sind Energie. |
| 10. | Energie kann umgewandelt werden (z.B. von einer Form in eine andere Form) - es gibt verschiedene Energieformen. |
| 11. | Nicht jede Energieform kann von Lebewesen (gleich gut) genutzt werden (brauchbare - unbrauchbare Energie). [vergl. 80] |
| 12. | Nahrungsbestandteile/aufgenommene Stoffe/Lichtstrahlen werden direkt in Energie/Energiespeicher (ATP) umgewandelt. [vergl. 79] |
| 13. | Energie wird zwischen Lebewesen und ihrer Umgebung ausgetauscht. |
| 14. | Vitamine sind Energielieferanten für den Menschen. |
| 15. | Energie kann in Lebewesen gespeichert werden. |
| 16. | Energie wird mit den Adjektiven "gesund, unbehandelt, natürlich" und den Substantiven "Obst, Müsli" in Verbindung gebracht. |
| 17. | Vitamine werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. [vergl. 14,20] |
| 18. | Spurenelemente werden mit Energie oder/und Wärme in Verbindung gebracht. |
| 19. | Energie ist in Stoffen/Dingen/Lebewesen[15]/Teilen von Lebewesen nicht im ganzen Objekt verteilt, sondern nur an bestimmten Stellen. [2?] |
| 20. | Vitamine selbst sind Energie. [9] |
| 21. | Nahrungsbestandteile selbst sind für die Bildung von ATP (Energiespeicher) nötig. |
| 22. | ATP ist eine energiereiche Verbindung - in ATP ist Energie gespeichert. [15] |
| 23. | Energie kann zwischen Stoffen/Dingen übertragen werden. |
| 24. | Energie ist zwischen Atomen in Bindungen (chemisch) gespeichert. [15] |

Teiltabelle 2

| GV-Nummer | Inhalt der Grundvorstellung |
|-----------|---|
| 25. | Energie wird im/am Körper (durch Reaktionen/Abläufe) freigesetzt. |
| 26. | Energie geht nie verloren. |
| 27. | Energie steckt in bestimmten Strukturen (Faltblattstruktur, Ringstruktur) der Materie. [15?] |
| 28. | In Dingen/Nahrungsbestandteilen/Körperteilen steckt überall Energie. [15?] |
| 29. | Energie kann im Körper (von A nach B) transportiert werden. |
| 30. | Energie kann direkt in "etwas" umgewandelt werden. [10] |
| 31. | Energie selbst bewirkt Reaktionen/produziert etwas (z.B. Prickeln auf der Haut, Wärme). |
| 32. | Solange Nahrung im Körper ist, hat ein Lebewesen Energie. |
| 33. | Energieumwandlung/Energieverbrauch/Energieherstellung erzeugt Wärme. [10?, vergl. 53] |
| 34. | Wärme/Wärmeenergie beschleunigt/erleichtert Reaktionen (z.B. Stoffwechselreaktionen). |
| 35. | Durch "Verbrennung" in Lebewesen entsteht Wärme. |
| 36. | Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge wird direkt von der Sonne aufgenommen. [13, 65] |
| 37. | Energie ist für den physischen/psychischen Zustand von Lebewesen zuständig; Energie ist "etwas", was man anregen, steigern, verlieren, trainieren kann (Energie als Ursache für Fitneß, Wohlbefinden, Unlust, Gesundheit) - Lebendiges hat Energie, Totes hat keine. |
| 38. | Sonne ist Energiespender für das Leben auf der Erde. |
| 39. | Energie ist nicht mit Sinnen fassbar. |
| 40. | Energie wird (durch Nahrungsaufnahme) zwischen Lebewesen weitergegeben. [13] |
| 41. | Pflanzen bekommen zum Wachstum Energie von der Sonne/Sonnenlicht. [13, 36?, 65?] |
| 42. | Lebewesen brauchen Wärme zum Leben. |
| 43. | Durch Lebensvorgänge/Reaktionen/Stoffwechselfvorgänge/Prozesse in Lebewesen entsteht Wärme, die abgegeben wird. [ohne Reibung, vergl. 55] |
| 44. | Sonne ist Wärmespender (spendet Energie nicht in Form von Licht oder kurzwelliger Strahlung), Sonne spendet Energie nur in Form von Wärme. [13] |
| 45. | Wärme ist Energie. |
| 46. | Pflanzen nehmen (für ihre Lebensvorgänge) Energie in Form von Wärme auf. [13] |
| 47. | Alle Energie endet in/wird zu Wärme. |
| 48. | Lebewesen nehmen Energie für bestimmte (genannte) Lebensvorgänge in Form von Wärme auf. [13] |
| 49. | Energie (fließt nicht, sondern) kreist auf der Erde. |
| 50. | Licht ist Energie. |
| 51. | Tote Lebewesen geben (bei Verwesung) ihre Wärme ab. [13] |
| 52. | Pflanzen nehmen Energie durch Wurzeln/aus dem Boden auf. [13, vergl. 73] |
| 53. | Energieumwandlung ist unvollständig - Wärme wird frei. [10, 33] |
| 54. | Luft/Sauerstoff/Stickstoff/Kohlendioxid sind Energieträger/übertragen Energie zwischen Pflanzen, Tieren und Menschen. [13] |
| 55. | Durch Reibung entsteht im Lebewesen Wärme. |
| 56. | Der Mensch braucht für geistige Tätigkeit keine Energie - bei Ruhe/bei Bewegungslosigkeit wird keine Energie benötigt. |

Teiltabelle 3

| GV-Nummer | Inhalt der Grundvorstellung |
|-----------|--|
| 57. | Bewegung/Muskelbewegung braucht (viel) Energie (- Abläufe beim Denken brauchen jedoch wenig Energie). [4] |
| 58. | Bestimmte Stellen/Prozesse in Lebewesen benötigen viel Energie. [4, vergl. 60] |
| 59. | Denken ist Energie. |
| 60. | Chemische Reaktionen/Vorgänge im Körper (Verdauung) benötigen zum Ablaufen Energie. |
| 61. | Kleine Lebewesen enthalten weniger Energie als größere Lebewesen. [15] |
| 62. | Große Lebewesen brauchen zum Leben mehr Energie als kleine Lebewesen. [4] |
| 63. | Hitze verlangsamt Stoffwechselfvorgänge. |
| 64. | Schnelle Vorgänge benötigen viel Energie und umgekehrt. |
| 65. | Lebewesen (allgemein) nehmen Energie direkt von der Sonne auf. [13, vergl. 36, 41] |
| 66. | Lebewesen gehen mit Energie sparsam um - müssen mit Energie sparsam umgehen. |
| 67. | Kleine Tiere verlieren mehr Energie an die Umgebung als große Tiere. [13] |
| 68. | Bei Verwesung/Fäulnis entsteht Energie. [91] |
| 69. | Man braucht Wärme zum Verwesen. |
| 70. | Ist keine Energie und Wärme vorhanden, tritt Verwesung ein. |
| 71. | Bei Verwesung geht Energie in die Erde. |
| 72. | Zum Schaffen und Erhalten von Ordnung braucht man Energie. |
| 73. | Im Boden/in Erde ist Energie. |
| 74. | Mineralstoffe sind Energie. [9] |
| 75. | Durch Bewegung entsteht Wärme. |
| 76. | In bestimmten Lebewesen (z.B. Quallen) ist keine Energie. |
| 77. | Wärme stammt aus Energie. [30] |
| 78. | Bei Aufspaltung von Nahrung entsteht Wärme. |
| 79. | Bestimmte Vorgänge/Prozesse (z.B. Photosynthese) in Lebewesen erzeugen Energie. [1, 91] |
| 80. | Es gibt verschieden gute Energiespeicher. [15?] |
| 81. | Energie wird zu Kraft. [10?] |
| 82. | Energie ist in Lebewesen dort/dort gespeichert, wo sie (zumeist) etwas "mit Sinnen Wahrnehmbares", etwas Offensichtliches vollbringen kann (hauptsächlich in bewegten u. bewegbaren Körperteilen: Gliedmaßen, deren Muskeln u. im Kopf) + Negation der Aussage. [15?, 19] |
| 83. | Der Magen-Darm-Bereich ist Umwandlungsstelle/Umlenksstelle für Energie. [10?] |
| 84. | Sonnenstrahlen können in Energie umgewandelt werden. [10] |
| 85. | Tierische Lebewesen bekommen Energie für Lebensvorgänge durch Licht. [13, vergl. 36, 65] |
| 86. | In Pflanzen ist keine Energie. |
| 87. | Pflanzen stellen Energie selber her. [1, 91] |
| 88. | Pflanzen sind Energie. |
| 89. | Pflanzen nehmen Energie durch Wasser auf. [13, 90] |
| 90. | Wasser ist Energie(speicher) für Lebewesen. [2, 9?, 15?] |
| 91. | Energie kann hergestellt und verbraucht werden. |

VII Kreuzmatrix der 91 Grundvorstellungen (GV)

Das Faltblatt der nächsten Seite stellt die Kreuzmatrix der 91 ermittelten Grundvorstellungen (vgl. Anhang VI, S. 48f) dar. In dieser Matrix ist abzulesen, wie viele der 784 befragten Schüler eine Grundvorstellung mit einer anderen Grundvorstellung aus dem für sie ermittelten GV-Profil (Auswertungsschritt 5 der Fragebogenstudie, vgl. S. 158) bei der Bearbeitung ihres gesamten Fragebogens benutzt haben. Die Kombination der Grundvorstellungen muss dabei nicht unbedingt in einer Aufgabe geschehen sein, da die in Auswertungsschritt 5 ermittelten GV-Profile pro Schüler und nicht pro Frage errechnet wurden.

Die Kombinationen der Grundvorstellungen sind je nach ihrer Häufigkeit farbig unterschiedlich hervorgehoben (vgl. Legende unter der Kreuzmatrix).

Anhang VIII

Kreuzmatrix der 91 Grundvorstellungen

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 35 | 21 | 11 | 94 | 26 | 13 | 2 | 182 | 30 | 23 | 33 | 12 | 29 | 4 | 2 | 15 | 279 | 2 | 5 | 193 | 10 | 12 | 2 | 21 | 12 | 7 | 3 | 2 | 2 | 2 | 191 | 4 | 9 | 2 | 5 | 2 | 3 | 118 | 15 | 8 | 30 | 2 | 4 | 2 | 96 | 101 | 510 |
| 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 |
| 19 | 6 | 5 | 56 | 17 | 4 | 2 | 24 | 8 | 7 | 14 | 4 | 13 | 2 | 1 | 4 | 136 | 3 | 96 | 2 | 8 | | 10 | 6 | 2 | 2 | 1 | | 37 | 1 | | 1 | 5 | | 1 | 23 | 1 | | 3 | 1 | 4 | 1 | 8 | 8 | 213 | | |
| 29 | 19 | 11 | 89 | 25 | 8 | 1 | 160 | 28 | 15 | 26 | 10 | 25 | 3 | 1 | 14 | 279 | 1 | 5 | 179 | 7 | 11 | 1 | 20 | 11 | 7 | 2 | 2 | 2 | 1 | 145 | 2 | 7 | 2 | 5 | 2 | 3 | 87 | 9 | 5 | 23 | 1 | 3 | | 96 | 101 | 417 |
| 23 | 11 | 10 | 78 | 22 | 11 | 2 | 67 | 17 | 6 | 16 | 8 | 24 | 4 | | 11 | 226 | 5 | 188 | 7 | 12 | | 18 | 10 | 7 | 2 | 2 | 1 | 77 | 3 | 5 | 1 | 2 | 1 | 2 | 49 | 6 | 3 | 15 | 1 | 1 | | 27 | 28 | 417 | | |
| 33 | 14 | 11 | 94 | 26 | 11 | 2 | 74 | 19 | 8 | 24 | 10 | 29 | 4 | 1 | 13 | 274 | 1 | 5 | 193 | 9 | 12 | 1 | 21 | 12 | 7 | 3 | 2 | 1 | 1 | 106 | 3 | 5 | 1 | 2 | 1 | 2 | 73 | 6 | 3 | 15 | 1 | 2 | | 30 | 32 | 447 |
| 7 | 8 | 4 | 30 | 9 | 7 | 1 | 71 | 4 | 11 | 9 | 2 | 11 | 2 | | 3 | 78 | 2 | 53 | 4 | 4 | | 12 | 3 | 1 | 2 | | | 1 | 73 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 49 | 3 | 2 | 11 | 1 | 3 | 1 | 36 | 38 | 162 | |
| 4 | 3 | 5 | 22 | 6 | 2 | | 9 | 1 | 1 | 1 | | 8 | | | 3 | 50 | 1 | 30 | 1 | 1 | | 6 | | 1 | 1 | | | 1 | 9 | | | | 1 | | 17 | 1 | | 2 | | | | 2 | 3 | 65 | | |
| 4 | 3 | 1 | 10 | 5 | 4 | | 20 | 3 | | 4 | | 2 | | | 2 | 22 | | 16 | | 2 | | 3 | | | | | | 2 | 20 | 1 | | | | 11 | 1 | | 8 | | 1 | | 10 | 11 | 42 | | | |
| 4 | 1 | 2 | 8 | 2 | | 1 | 9 | 2 | 2 | 5 | 1 | 3 | | | 1 | 22 | | 13 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 9 | 1 | | | | 5 | | | 1 | 1 | | | | 5 | 5 | 49 | | | |
| 5 | 2 | 1 | 10 | | 1 | | 14 | 2 | 2 | | | | | | 1 | 24 | | 18 | | 2 | | 2 | 4 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 12 | 1 | 3 | | 1 | 1 | 10 | 1 | | | | | 21 | 21 | 45 | | | |
| 13 | 10 | 7 | 43 | 11 | 6 | | 79 | 27 | 6 | 20 | 1 | 10 | 1 | | 6 | 92 | | 2 | 64 | | 4 | | 8 | 2 | 1 | 1 | | | 68 | 2 | 4 | 2 | 3 | | 1 | 48 | 3 | 5 | 13 | 2 | 1 | 1 | 34 | 36 | 204 | |
| | 2 | 9 | 1 | 1 | | | 4 | 3 | | 3 | 1 | 2 | | | | 16 | | 9 | | | | | | | 1 | | | 1 | 8 | | | | 1 | | 3 | | | 1 | | | 3 | 3 | 21 | | | |
| 7 | 4 | 3 | 19 | 3 | 1 | | 20 | 7 | 2 | 6 | 3 | 2 | 1 | | 1 | 36 | | 1 | 28 | | 4 | | 3 | | 1 | | | 1 | 12 | | 1 | 1 | 2 | | 1 | 9 | | 1 | 2 | | | 8 | 8 | 60 | | |
| 33 | 21 | 11 | 94 | 26 | 12 | 2 | 181 | 30 | 23 | 32 | 10 | 27 | 4 | 1 | 15 | 279 | 1 | 5 | 182 | 9 | 11 | 1 | 19 | 12 | 7 | 3 | 2 | 2 | 1 | 168 | 4 | 9 | 2 | 5 | 2 | 3 | 103 | 14 | 7 | 30 | 2 | 2 | 1 | 96 | 100 | 477 |
| 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | 2 | | | | 11 | | 5 | 1 | | | | 1 | | | | | 2 | | | | | | 4 | | | | | | | | | | | | 11 |
| 30 | 19 | 11 | 88 | 24 | 8 | 1 | 156 | 26 | 22 | 26 | 10 | 25 | 4 | 1 | 14 | 279 | | 5 | 178 | 7 | 11 | 1 | 18 | 10 | 7 | 2 | 2 | | 1 | 153 | 1 | 7 | 2 | 5 | 2 | 3 | 110 | 14 | 6 | 26 | 2 | 4 | 1 | 77 | 82 | 427 |
| 1 | | | 2 | | | | 1 | 1 | | | 1 | 1 | | | | 6 | | 6 | | 1 | | | | | | 1 | 1 | | 3 | | | | | 1 | | | | | | | | 1 | 1 | 9 | | |
| 5 | 3 | | 10 | 3 | 2 | | 6 | | 1 | | 4 | 10 | | | 1 | 50 | | 1 | 37 | 4 | 1 | | 4 | 4 | 4 | 1 | | | 26 | | | | | 14 | 1 | | | | | | 6 | 6 | 60 | | | |
| | | | 1 | 1 | | | | | | 1 | | 1 | 1 | | | 12 | | 4 | | | | 4 | 2 | | | | | | 5 | | | | 3 | | | | | | | | | | | | 14 | |
| 7 | 8 | | 7 | 3 | 1 | | 83 | 4 | 15 | 7 | 1 | 3 | 1 | 1 | 4 | 29 | | 1 | 23 | 1 | 1 | | 3 | 1 | | | | 1 | 67 | 1 | | 2 | | | 97 | 11 | 1 | 14 | 1 | 3 | | 53 | 54 | 111 | | |
| 2 | | | 1 | | | | | 1 | | | | | | 1 | | 6 | | 3 | | 1 | | | 1 | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 11 | |
| 1 | | 3 | 11 | 2 | | | 5 | | | 5 | | 2 | | | | 15 | | 9 | | 2 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | 18 | |
| 4 | 2 | 2 | 12 | 2 | | | 5 | 7 | | 4 | | 1 | | | | 18 | | 12 | | 4 | 1 | | | | | | | 4 | | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 2 | 2 | | | | 1 | 1 | 31 | | |
| 1 | 1 | 1 | 3 | | | | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 5 | | 3 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 5 | |
| 1 | 1 | 1 | 5 | 1 | | | 1 | 4 | | 2 | | | | | | 8 | | 5 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | |
| 1 | 3 | | 11 | 14 | 1 | | 13 | 1 | 1 | 3 | | | | | 3 | 20 | | 1 | 16 | | | | 2 | 2 | 1 | 1 | | | 15 | 1 | 4 | | | | 7 | | | 1 | 1 | | 1 | 8 | 8 | 43 | | |
| 2 | 2 | 3 | 7 | 1 | 1 | | 8 | 7 | | 3 | | 3 | | | 2 | 11 | | 6 | | 1 | | | 1 | | | | | 4 | 1 | | | 1 | | | 2 | | | | | | | 3 | 3 | 19 | | |
| | | | 1 | | | | | | | | 2 | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | | | 16 | 2 | | 2 | | | | | 1 | 3 | | 2 | | | | 1 | | | | | | 6 | | 1 | | | 1 | | 4 | | 2 | | | | | | 8 | 8 | 22 | |
| 7 | 9 | 2 | 9 | 4 | 2 | | 101 | 7 | 12 | 14 | 2 | 5 | 3 | | 6 | 36 | | 27 | 1 | 2 | | 6 | 1 | | | | 1 | 69 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 76 | 7 | 3 | 17 | | 3 | 2 | 44 | 47 | 134 | | | |
| 2 | 5 | 2 | 5 | 2 | | | 51 | 12 | 7 | 7 | | | | 1 | 3 | 11 | | 7 | | 1 | | 1 | 1 | | | | | 33 | | 5 | 1 | 1 | | 1 | 28 | 3 | 4 | 8 | 2 | 1 | 1 | 25 | 27 | 75 | | |
| 3 | 8 | | 5 | 2 | 3 | | 77 | 11 | 10 | 7 | | | | | 4 | 7 | | 7 | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 47 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 2 | 38 | 6 | 5 | 20 | 1 | 2 | 1 | 37 | 39 | 113 | | |
| 1 | | | 4 | 1 | 2 | | | | | | 1 | | | | 1 | 2 | | 4 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 7 | |
| 1 | 1 | 2 | 15 | 4 | | | 14 | 19 | 2 | 4 | 1 | 3 | 1 | | 1 | 29 | | 25 | | 2 | | 3 | 1 | 1 | | | | 6 | | 3 | | 1 | | 8 | | | 5 | 1 | | | 6 | 6 | 54 | | | |
| 5 | 2 | 6 | 26 | 10 | 1 | | 6 | | 7 | 1 | 5 | 1 | 1 | | 1 | 60 | | 2 | 43 | | 3 | 8 | 1 | 2 | | | 1 | 13 | | | | | 5 | | 1 | | | | | | | | | 64 | | |
| 4 | 4 | 2 | 13 | 5 | 2 | | 44 | 3 | 7 | 4 | 1 | 3 | | | 5 | 48 | 1 | 1 | 34 | | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | | | 21 | | | | 2 | 20 | 1 | | 11 | 1 | 1 | | 22 | 24 | 110 | | | | |
| 1 | | | 4 | 3 | | | | 1 | 1 | | | | 1 | | | 12 | | 2 | 10 | 3 | | 1 | 1 | | | | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | 17 | |
| 16 | 5 | | 31 | 15 | 7 | | 1 | 1 | 2 | 4 | 4 | 17 | 2 | 1 | 6 | 122 | 1 | 1 | 86 | 5 | 7 | | 8 | 9 | 5 | 1 | 1 | 1 | 40 | | | | 14 | | | | | | | | | | 1 | 142 | | |
| 6 | 1 | 3 | 10 | 3 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 3 | 1 | | | 1 | 30 | | 22 | 2 | 1 | | 1 | 1 | 2 | 1 | | | 7 | | | | 3 | | | | | | | | | | | | 38 | | |
| 2 | | 3 | 5 | | | | 4 | 2 | | 1 | | | | | | 7 | | 5 | | 1 | | 2 | | | | | | 5 | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 11 | | |
| 1 | | 3 | | | | | 2 | 2 | 1 | 1 | | 1 | | | | 8 | | 6 | 1 | 1 | | 1 | | | | | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | |
| 5 | 8 | 1 | 16 | 9 | 2 | 1 | 57 | 8 | 6 | 9 | | 3 | | | 4 | 49 | 1 | 2 | 33 | 1 | 2 | | 5 | 3 | 2 | 2 | | | 46 | | 1 | | 2 | 1 | 3 | 23 | 2 | 1 | 7 | | | 37 | 38 | 103 | | |
| 8 | 4 | | 23 | 10 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 3 | 8 | 1 | | 5 | 74 | | 3 | 51 | 4 | 5 | 1 | 3 | 8 | 4 | 1 | | | 28 | | | 1 | | 4 | | | 1 | | | | | 1 | 1 | 89 | | |
| 21 | 13 | 10 | 67 | 18 | 6 | 1 | 140 | 29 | 17 | 24 | 3 | 14 | 3 | | 14 | 157 | 1 | 4 | 111 | 3 | 6 | 1 | 16 | 3 | 5 | 3 | | | 127 | 3 | 6 | 2 | 4 | 2 | 3 | 82 | 12 | 6 | 27 | 2 | 4 | 1 | 78 | 83 | 332 | |
| 6 | 3 | | 15 | 5 | 8 | | 5 | 1 | 1 | 3 | 3 | 7 | | | 1 | 48 | | 3 | 35 | 4 | 2 | 1 | 5 | 5 | 4 | | | 20 | | 1 | | | 3 | | | | | | | | | | 2 | 3 | 62 | |
| | 8 | | 11 | 2 | 2 | | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | | | 1 | 24 | | | 16 | | 2 | | 1 | 1 | | | | 9 | 1 | | | | 3 | | 1 | | | | 1 | | | 2 | 2 | 31 | | |
| | | | 3 | 3 | | | 7 | | 1 | 2 | | 3 | | | | 8 | | 7 | | | | 1 | | | | | | | 7 | 1 | | 1 | | 5 | | | | 2 | | | | 7 | 7 | 15 | | |
| | | | 7 | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand unter Anleitung von Frau Prof. Dr. Almut Gerhardt am Lehrstuhl für Biologie und Didaktik der Biologie, Fakultät für Biologie. Mein erster Dank gilt ihr. Sie ermöglichte es mir, in ihrer Arbeitsgruppe "Schülervorstellungen im Biologieunterricht" das für mich sehr interessante Thema "Energie im biologischen Kontext" zu bearbeiten. Über viele Jahre betreute sie mich mit großem Engagement und mit sehr viel Geduld. Ihre Kompetenz und stete Hilfsbereitschaft sowie die zahlreichen kritischen Diskussionen und förderlichen Anregungen haben entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. An dieser konstruktiven Arbeitsatmosphäre änderte sich auch nichts, als für mich völlig unerwartet der Übergang vom wissenschaftlichen Mitarbeiter zum "Paukerdasein" stattfand. Dadurch ergaben sich viele Änderungen, die dank Frau Gerhardt jedoch letztlich gewinnbringend für die vorliegende Dissertation eingebracht werden konnten, denn sie hat bei allen wissenschaftlichen Überlegungen zur Fachdidaktik den für eine effektive Fachdidaktik wichtigen Blick auf den tatsächlichen Schulalltag nie aus den Augen verloren.

Die von den Mitgliedern unserer Arbeitsgruppe angefertigten Examensarbeiten stützen als Begleitstudien die Ergebnisse dieser Dissertation. Für die interessanten und vielfältigen Diskussionen mit allen Beteiligten bedanke ich mich herzlich, insbesondere bei Frau Almuth Kläß.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft bin ich für die finanzielle Unterstützung bei der Realisierung der umfangreichen Untersuchungen zu großem Dank verpflichtet.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Gerd Löffler, der mir manche physikalische Frage zur Energiethematik beantwortete, sowie Herrn Prof. Dr. Ulrich Kattmann für anregende fachdidaktische Diskussionen und hilfreiche Ratschläge.

Bedanken möchte ich mich ebenfalls bei vielen Kollegen der Olof-Palme-Gesamtschule in Hiddenhausen für praxisnahe Ratschläge sowie auch bei den Schülern, die meine ersten Gehversuche mit den neuen Unterrichtsmethoden und -inhalten dieser Arbeit mit sachlicher Kritik begleiteten.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinem Vater, Lehrer im sogenannten Ruhestand. Er rückte mit geschulten Worten manchen Gedanken gerade und sparte nie mit höchst konstruktiver Kritik. Sehr herzlich bedanken möchte ich mich auch bei Stefan Rohling, der bis tief in die Nächte beim Programmieren half.

Meinen ganz speziellen Dank an meine Frau Annette! Viele Jahre hast Du in Hinblick auf diese Arbeit aufmerksam zugehört, äußerst hilfreich eingegriffen und viele hundert Seiten gelesen, korrigiert und mit mir durchgesprochen. Für alles das und vieles hier Ungenannte möchte ich mich ganz, ganz herzlich bei Dir bedanken.

Ohne Dich gäbe es diese Arbeit nicht.

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt und die Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder Sinn nach entnommen sind, in jedem einzelnen Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe. Das Gleiche gilt auch für Zeichnungen und Abbildungen.

Bielefeld, den 9.12.2001

Joachim Burger