

Fletcher, Stefan; Kleinteich, Anja

Vorstellungen von Grundschüler*innen zum Ende der Primarstufe über den grundsätzlichen Aufbau eines komplexen technischen Systems zur Energieerzeugung untersucht am Beispiel der Konstruktion eines Wasserkraftwerks aus vorgegebenen Teilsystemen

Landwehr, Brunhild [Hrsg.]; Mammes, Ingelore [Hrsg.]; Murmann, Lydia [Hrsg.]: Technische Bildung im Sachunterricht der Grundschule. Elementar bildungsbedeutsam und dennoch vernachlässigt? Bad Heilbrunn : Verlag Julius Klinkhardt 2021, S. 29-50. - (Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts; 12)



Empfohlene Zitierung/ Suggested Citation:

Fletcher, Stefan; Kleinteich, Anja: Vorstellungen von Grundschüler*innen zum Ende der Primarstufe über den grundsätzlichen Aufbau eines komplexen technischen Systems zur Energieerzeugung untersucht am Beispiel der Konstruktion eines Wasserkraftwerks aus vorgegebenen Teilsystemen - In: Landwehr, Brunhild [Hrsg.]; Mammes, Ingelore [Hrsg.]; Murmann, Lydia [Hrsg.]: Technische Bildung im Sachunterricht der Grundschule. Elementar bildungsbedeutsam und dennoch vernachlässigt? Bad Heilbrunn : Verlag Julius Klinkhardt 2021, S. 29-50 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-215310 - DOI: 10.35468/5869-03

<http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-215310>

<http://dx.doi.org/10.35468/5869-03>

in Kooperation mit / in cooperation with:



<http://www.klinkhardt.de>
Nutzungsbedingungen

Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.de> - Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen sowie Abwandlungen und Bearbeitungen des Werkes bzw. Inhaltes anfertigen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. der Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden. Die neu entstandenen Werke bzw. Inhalte dürfen nur unter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergegeben werden, die mit denen dieses Lizenzvertrages identisch oder vergleichbar sind.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

This document is published under following Creative Commons-Licence: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.en> - You may copy, distribute and transmit, adapt or exhibit the work in the public and alter, transform or change this work as long as you attribute the work in the manner specified by the author or licensor. You are not allowed to make commercial use of the work. If you alter, transform, or change this work in any way, you may distribute the resulting work only under this or a comparable license.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.



Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Mitglied der:


Leibniz-Gemeinschaft

Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts

**Brunhild Landwehr
Ingelore Mammes
Lydia Murmann
(Hrsg.)**

Technische Bildung im Sachunterricht der Grundschule

**Elementar bildungsbedeutsam und
dennoch vernachlässigt?**

GDSU e.V.

k linkhardt

**Forschungen zur Didaktik
des Sachunterrichts
Band 12**

Brunhild Landwehr
Ingelore Mammes
Lydia Murmann
(Hrsg.)

Technische Bildung im Sachunterricht der Grundschule

Elementar bildungsbedeutsam und
dennoch vernachlässigt?

Verlag Julius Klinkhardt
Bad Heilbrunn • 2021

k

Schriftenreihe der
Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts e.V.

Die Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) e.V. ist ein Zusammenschluss von Lehrenden aus Hochschule, Lehrerfortbildung, Lehrerweiterbildung und Schule. Ihre Aufgabe ist die Förderung der Didaktik des Sachunterrichts als wissenschaftliche Disziplin in Forschung und Lehre sowie die Vertretung der Belange des Schulfaches Sachunterricht.
www.gdsu.de

Dieser Titel wurde in das Programm des Verlages mittels eines Peer-Review-Verfahrens aufgenommen. Für weitere Informationen siehe www.klinkhardt.de.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten
sind im Internet abrufbar über <http://dnb.d-nb.de>.

2021.n. © by Julius Klinkhardt.

Druck und Bindung: AZ Druck und Datentechnik, Kempten.
Printed in Germany 2021.
Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem alterungsbeständigem Papier.



Die Publikation (mit Ausnahme aller Fotos, Grafiken und Abbildungen) ist veröffentlicht unter der Creative Commons-Lizenz: CC BY-NC-SA 4.0 International
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

ISBN 978-3-7815-5869-4 digital doi.org/10.35468/5869
ISBN 978-3-7815-2430-9 print

Inhaltsverzeichnis

<i>Brunhild Landwehr, Ingelore Mammes und Lydia Murmann</i> Editorial	7
<i>Andreas Schmitt und Tanja Fellensiek</i> „Windräder werden mit Strom betrieben, um Wind zu erzeugen ... oder umgekehrt!“ – Schülervorstellungen und Konzeptwechsel zum Thema Windenergie im Sachunterricht	11
<i>Stefan Fletcher und Anja Kleinteich</i> Vorstellungen von Grundschüler*innen zum Ende der Primarstufe über den grundsätzlichen Aufbau eines komplexen technischen Systems zur Energieerzeugung untersucht am Beispiel der Konstruktion eines Wasserkraftwerks aus vorgegebenen Teilsystemen	29
<i>Swantje Dölle</i> LERNnetze – Lernunterstützung im technischen Sachunterricht Erprobung kognitiv aktivierender und inhaltlich strukturierender Maßnahmen der Lernunterstützung und Überprüfung der Angebotsnutzung	51
<i>Victoria Adenstedt</i> Attributionen von Grundschulkindern zur Erklärung von Leistungsergebnissen bei technischen Alltagsaufgaben	73
<i>Svantje Schumann</i> Technische Ereignisse in Stummfilmen erschließen – eine Untersuchung der Bildungsprozesse von Kindern	95
<i>Lennart Goecke, Jurik Stiller und Julia Schwanewedel</i> Algorithmusverständnis in der Primarstufe – Eine Studie im Kontext des Einsatzes von programmierbarem Material	117
<i>Sabine Martschinke, Susanne Palmer Parreira und Ralf Romeike</i> Informatische (Grund-)Bildung schon in der Primarstufe? Erste Ergebnisse aus einer Evaluationsstudie	133

6 | Inhaltsverzeichnis

Eva Gläser und Christina Krumbacher

Ausstattung zur technischen Bildung mangelhaft?

Eine quantitative Studie zur Situation an Grundschulen 151

Verzeichnis der Autorinnen und Autoren 167

Stefan Fletcher und Anja Kleinteich

Vorstellungen von Grundschüler*innen zum Ende der Primarstufe über den grundsätzlichen Aufbau eines komplexen technischen Systems zur Energieerzeugung untersucht am Beispiel der Konstruktion eines Wasserkraftwerks aus vorgegebenen Teilsystemen

1 Einleitung

Das Wissen über Technik ist aktuell und in der Zukunft ein immer wichtigerer Bestandteil des Lebens und der Kultur und hat einen hohen Stellenwert für die gesellschaftliche, kulturelle und wirtschaftliche Entwicklung Deutschlands. Schon die Lebenswelt der Kinder ist heute vom Kleinkindalter an stark durch technische Artefakte wie Computer, Fahrzeuge, Smartphones, Haushaltsgeräte und technische Spielzeuge geprägt. Fast alle diese technischen Artefakte basieren auf der Nutzung von Energie. Entsprechend erfahren Kinder und Jugendliche schon in ihrem alltäglichen Leben, dass die Energieversorgung einen besonderen Stellenwert hat für die Bewältigung des Alltags. Aber auch mit den nachteiligen Folgen einer intensiven Nutzung von Energie für unser Leben werden Kinder aktuell durch die Medien konfrontiert. Themen wie Ressourcenverknappung und globale Erwärmung sind aktuelle Themen, die auch für Kinder und Jugendliche von zunehmendem Interesse sind. Entsprechend entwickeln Kinder implizit (Alltags-)Vorstellungen über die sie umgebenden Technologien zur Erzeugung und Nutzung von Energie auch ohne dass diese im Schulunterricht direkt thematisiert werden. Dabei entstehen häufig Vorstellungen, die mit den fachlichen Sichtweisen nicht oder nur teilweise übereinstimmen. Solche Vorstellungen haben einen entscheidenden Einfluss auf das Verstehen, Verarbeiten und Verknüpfen von neuen Lerninhalten. Es besteht Einigkeit darin, dass die Kenntnis über Schülervorstellungen für die Initiierung von Lernprozessen eine entscheidende Bedeutung hat (Pech & Kaiser 2004, 25).

Hieraus leitet sich das Ziel des Forschungsprojektes ab, Vorstellungen von Grundschüler*innen über einen bisher noch wenig erforschten Inhaltsbereich, den Aufbau eines komplexen technischen Systems zur Energiegewinnung am Beispiel des Wasserkraftwerks, zu erforschen. Dies erfolgt auf der Basis der Analyse von

gewählten Lösungsansätzen, die Schüler*innen bei der Rekonstruktion eines Wasserkraftwerks aus vorgegebenen Teilsystemen gewählt haben. Die Auswertung der gewonnenen Daten erfolgt weitgehend qualitativ über ein Kategoriensystem.

2 Stand der Forschung und Zielsetzung der Studie

Unter dem Begriff Schülervorstellungen werden Konzepte, Begriffe und Theorien gefasst, welche Schüler*innen durch das Interpretieren von Alltagserfahrungen, durch alltagssprachliche Formulierungen, durch allgemeine Denkschemata und durch das Interpretieren vermittelter Erklärungen und Darstellungen entwickelt haben (vgl. Möller 2010a, 61). Folglich kann der Begriff Vorstellung als Oberbegriff verstanden werden, der „kognitive Konstrukte verschiedener Komplexitätsebenen, also Begriffe, Konzepte, Denkfiguren und Theorien“ (Kattmann et al. 1997, 11) umfasst. In der einschlägigen Literatur werden zur Charakterisierung dieser Vorerfahrungen unterschiedliche Bezeichnungen genutzt, wie zum Beispiel Schülervorstellungen, Präkonzepte, naive bzw. subjektive Theorien, Misskonzepte oder Fehlkonzepte (vgl. Wodzinski 2007, 23; Möller 2013, 61; Heran-Dörr 2012, 6). Damit sind entsprechend unterschiedliche Interpretationen und Deutungen verbunden. Beispielsweise ist mit dem Begriff des Präkonzepts verbunden, dass das eigentlich richtige wissenschaftliche Konzept erst später erworben wird. Hingegen weist der Begriff Fehlvorstellung darauf, dass es sich um ein Konzept handelt, das nicht mit dem fachwissenschaftlichen Konzept übereinstimmt. Im weiteren Verlauf des Beitrags wird zur Vereinfachung vorrangig der allgemeine Begriff Schülervorstellungen verwendet, auch in dem Bewusstsein, dass nach Interpretation und Deutung die erhobenen und beschriebenen Phänomene sowohl als fachliche Konzepte wie auch als Fehlkonzepte gedeutet werden könnten.

Schülervorstellungen über Technik entstehen unbewusst bzw. vorbewusst u. a. durch die Nutzung technischer Geräte im Alltag sowie durch die Wahrnehmung der uns umgebenden Technik in der Realität und in den Medien. Aufgrund dieser ständigen Auseinandersetzung mit der technisierten Umwelt verfügen Schüler*innen bereits mit dem Eintritt in die Grundschule über vielfältige alltagsnahe, fachorientierte sowie teilweise sogar annähernd fachwissenschaftliche Vorstellungen (vgl. Krüger 2007, 81). Dabei fungieren die Vorstellungen, Modelle und Denkmuster als Art Suchraster, durch welches das neu Aufgenommene mit dem bereits Vorhandenen verglichen werden kann (vgl. Landwehr 1995, 35), wodurch neue Situationen nicht von neuem bewertet werden müssen (vgl. Max 1997, 65). Es ist entsprechend davon auszugehen, dass schon in der Primarstufe Schüler*innen Vorerfahrungen im Sinne von Vorstellungen zu den zu vermittelnden Unterrichtsinhalten haben (vgl. Duit 2007, 3; Reinfried 2007, 21f.). Lernprozesse

finden dementsprechend immer auf der Grundlage bestehender Erfahrungen und damit verknüpfter Deutungen statt. Diese Schülervorstellungen spielen eine entscheidende, jedoch ambivalente Rolle für das schulische Lernen, da sie einerseits als unerlässliche Anknüpfungspunkte des Lernens fungieren, andererseits zu Lernschwierigkeiten führen können (vgl. Möller 2013, 60; Duit 1997, 234). Lernschwierigkeiten können zum Beispiel entstehen, wenn Schüler*innen Erklärungen, die sie einmal für sich begründet gefunden haben, zugunsten angemessener Deutungen aufgeben müssen (vgl. Jonen & Möller 2005, 7). Es ist davon auszugehen, dass alles Wahrgenommene durch die bestehenden Vorstellungen selektiert und strukturiert wird. Folglich ist die Erforschung von Schülervorstellungen über technische Systeme eine wesentliche Grundlage für eine empirisch gestützte Weiterentwicklung der Didaktik des Sachunterrichtes.

Forschungsergebnisse zu Schülervorstellungen von Grundschulkindern aus dem Bereich der naturwissenschaftlich-technischen Perspektive des Sachunterrichtes liegen hauptsächlich zu physikalischen Phänomenen vor, z. B.: Optik (Blümör 1993, Claus u. a. 1982), Temperatur und Wärme (Wiesner 1985), Magnetismus (Kircher & Rohrer 1993), Schall (Kircher & Engel 1994; Rudolf & Wiesner 2001) und Elektrizitätslehre (Wiesner 1995) Energie (Opitz u. a. 2015). Zu ausschließlich technischen Inhaltsbereichen gibt es bisher nur sehr wenige Studien, so dass viele Bereiche aus der technischen Perspektive des Sachunterrichtes noch nicht erschlossen sind (Murmans 2013, 3). Die vorhandenen Studien zu diesem Inhaltsfeld beziehen sich zumeist auf typische technische Alltagsgegenstände mit direktem Bezug zur Erfahrungswelt der Primarstufenschüler*innen. Hier sei beispielhaft das Fahrrad oder Fahrradgetriebe zu nennen (vgl. Zolg 2001).

Nach unseren Recherchen sind aber bisher Vorstellungen von Primarstufenschüler*innen über den Aufbau komplexer technischer Systeme zur Energieerzeugung weitgehend unerforscht. Sowohl im Lehrplan von NRW (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW (2008)) als auch im Perspektivrahmen Sachunterricht (GDSU 2013) stellt der Bereich der regenerativen Energieerzeugung einen wichtigen Inhaltsbereich dar. Im Perspektivrahmen Sachunterricht wird der Themenbereich Umwandlung und Nutzung von Energie ausgewiesen und verschiedene Kompetenzziele angegeben. Eines der Ziele benennt, dass die Schüler*innen Wandlungsketten von elektrischem Strom verstehen sollen und einfache Geräte mit unterschiedlichen Antrieben konstruieren können.

Da das Thema Energie in den Medien eine hohe Aufmerksamkeit erfährt, in jedem Haushalt eine vielfältige Nutzung von Energie erfolgt und insbesondere Anlagen zur Erzeugung regenerativer Energien das Landschaftsbild zunehmend prägen, ist davon auszugehen, dass sich auch schon bei den Grundschulkindern erste Vorstellungen über den Aufbau und das Zusammenwirken von Systemen zur Energieversorgung ausgeprägt haben.

Das vorrangige Ziel der Forschungsstudie ist, die Vorstellungen von Primarstufenschüler*innen über den Aufbau eines komplexen technischen Systems der regenerativen Energieversorgung am Beispiel der Versorgung einer Stadt mit Energie aus einem Wasserkraftwerk zu erforschen. Hierbei ist es nicht das Ziel herauszufinden, welche Vorstellungen im Detail über die unterschiedlichen Funktionsprinzipien der einzelnen Baueinheiten vorliegen, sondern zu erforschen, ob schon Grundschüler*innen ein grundlegendes Verständnis für den Aufbau eines solchen Systems haben. Das bedeutet in welcher Reihenfolge typische Teilsysteme eines Kraftwerks angeordnet werden müssen, damit diese die übergeordnete Gesamtaufgabe erfüllen.

3 Technikbegriff und Systemdenken im Kontext der Entwicklung von Schülervorstellungen über den Aufbau von technischen Systemen

Das hier im Rahmen der Studie verwendete Begriffsverständnis von Technik orientiert sich an der Definition des Technikbegriffs nach Günter Ropohl: „Technik umfasst (a) die Menge der nutzenorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme), (b) die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen, und (c) die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden.“ (Ropohl, 2009, 31). Der Begriffsbestimmung von Ropohl zufolge wird dann von Technik gesprochen, wenn Menschen etwas künstlich herstellen, um dieses für zweckhafte Anwendungen zu nutzen. Das Artefakt steht zwar im Mittelpunkt der Technik, ist jedoch nicht mit der Technik gleichzusetzen. Zum Technikbegriff gehören auch der Mensch und seine Handlungen, die zum einen für die Herstellung der künstlichen Objekte und zum anderen für den Gebrauch dieser notwendig sind. Folgt man den Grundsätzen bzw. dem Grundgedanken der allgemeinen Technologie nach dem Systemtheoretiker Günter Ropohl 1999, so ist das systemorientierte Denken ein wesentlicher Bestandteil zur Erschließung der technischen Umwelt. Ein systemorientierter Zugang erlaubt ordnungsstiftende Einsichten in das Verhalten und den Aufbau technischer Gebilde, ohne dass man immer gleich die verwirrende Vielfalt technischer Ausführungsdetails und technikwissenschaftliche Theorien berücksichtigen müsste (vgl. Ropohl 1999, 49-57).

Studien belegen, dass schon Primarstufenschüler*innen in der Lage sind, grundlegende systemische Denkweisen zu erlernen (vgl. Fraune 2013). Das system- und problemorientierte Denken ist ein übergreifendes Konzept, das schon in der Grundschule von großer Bedeutung für die Entwicklung methodischer Kompetenzen ist (vgl. GDSU 2013, 63).

Der Perspektivrahmen Sachunterricht stellt „das Identifizieren und produktive Lösen technischer Probleme mit den Prozessen der Problemfindung, des praktischen Handelns, Erkundens, Konstruierens, Optimierens und Bewertens“ (GDSU 2013, 63) in den Vordergrund des technischen Lernens. Dabei beschränkt sich die Technikbildung aber nicht nur auf problemlösendes Tun, sondern bezieht auch „das analysierende technische Denken als gedankliches Durchdringen technischer Prinzipien, Funktionsweisen und Prozesse wie auch das Bewerten und Kommunizieren von Technik“ (ebd.) mit ein.

Wichtige Ausgangspunkte eines systemorientierten und technischen Denkens in Anlehnung an Ropohl (1999), Roth (1984) und Koller (1985) bilden die folgenden Konzepte einer technischen Systemtheorie:

- Ein technisches System ist eine abgeschlossene technische Einheit, die mit ihrer Umwelt in Verbindung steht.
- Technische Systeme und deren Elemente sind durch Stoff-, Energie- und Informationsflüsse miteinander verbunden.
- Die Transformation von Input zu Output wird als Funktion des Systems bezeichnet.
- Alle technischen Funktionen lassen sich auf die Elementarfunktionen: Speichern, Leiten, Wandeln und Verknüpfen zurückführen.
- Die Struktur eines technischen Systems wird durch die Anordnung seiner Elemente gebildet.
- Die Interaktion eines Systems mit anderen Systemen kann wiederum als ein übergeordnetes System betrachtet werden. Auf diese Weise entstehen unterschiedliche Hierarchiestufen von Systemen.

Nun stellt sich die Frage, was diese zunächst sehr abstrakt erscheinenden, systemtheoretischen Konzepte mit der Bildung von Vorstellungen über den Aufbau von technischen Systemen zu tun haben. Im Kapitel 4.2 wird detailliert dargestellt, dass das hier angewandte Untersuchungsinstrument zur Erforschung der Schülervorstellungen auf einer konstruktiven Aufgabenstellung basiert. Die Schüler*innen haben die Aufgabe aus vorgegebenen Teilsystemen ein komplexes technisches System zur Energieversorgung einer Stadt ausgehend von der Energie aus einem nahegelegenen Stausee aufzubauen. Die Entwicklung einer Lösung hängt eng mit einer systemorientierten Vorstellung über den Aufbau des Kraftwerks zusammen. Entsprechend müssen die Schüler*innen für eine Lösung Überlegungen zu den folgenden Fragestellungen vornehmen:

- Welche technischen Elementarfunktionen werden zur Erfüllung der Gesamtfunktion benötigt? Hiermit verbunden sind zum Beispiel Überlegungen zur Energiespeicherung im Stausee, der Energieleitung durch Rohre oder elektrische Leitungen und dem Energiewandel in der Turbine oder im Generator.

- In welcher Form müssen die Subsysteme des Kraftwerks durch Stoff- und Energieflüsse verbunden werden? Hierbei ist zum Beispiel die grundlegende Überlegung wichtig, dass die Gesamtfunktion der Kraftwerksanlage nur realisiert werden kann, wenn ein durchgehender Energiefluss vom Stausee bis zum Verbraucher in der Stadt erfolgt.
- In welcher Anordnung müssen die einzelnen Subsysteme gelegt werden, damit diese eine sinnvolle Struktur ergeben?
- Wie werden die Eingangsgrößen der einzelnen Teilsysteme zu Ausgangsgrößen transformiert? Hiermit verbunden sind Überlegungen, wie mechanische Energie als Eingangsgröße in elektrische Energie als Ausgangsgröße gewandelt wird.

4 Forschungsdesign

4.1 Forschungskontext und methodischer Zugang

Die in diesem Beitrag dargestellten Forschungsarbeiten sind Teil einer Studie, die im Kontext des Graduiertenkollegs, SUSE I – Übergänge vom Sachunterricht in die Sekundarstufe I an der Universität Duisburg-Essen, geleistet wurden. Ziel des Graduiertenkollegs ist die Erforschung der Transitionsproblematik vom integrativen Sachunterricht zum fachsystematischen Unterricht der Sekundarstufe I aus Sicht der am Sachunterricht beteiligten fachlichen Perspektiven. Hierbei wurde im Rahmen der technischen Perspektive die Entwicklung des technischen Systemdenkens bei der Konstruktion eines komplexen technischen Systems erforscht. Das Forschungsdesign basiert auf einem querschnittlichen Vergleich des technischen Systemdenkens von Schüler*innen am Ende der Primarstufe in Klasse 4 mit dem der Sekundarstufe in Klasse 7 der Gesamtschule. In der Studie hatten die Schüler*innen die Aufgabe, ein komplexes technisches System (Energieversorgung einer Stadt mit einem Wasserkraftwerk) aus vorgegebenen technischen Teilsystemen zu konstruieren. Dabei wurden die ausgeführten analytischen und synthetischen Denkopoperationen analysiert und bewertet (vgl. Fletcher & Kleinteich 2018). Im Rahmen dieses Beitrags werden die dabei erzielten Ergebnisse der konstruktiven Lösungsprozesse, also die von den Schüler*innen entwickelten Vorstellungen über den Aufbau des gesamten Systems, untersucht. Im Rahmen dieses Beitrags werden dabei ausschließlich die Lösungen der Primarstufenschüler*innen in Hinblick auf die damit verbundenen Vorstellungen ausgewertet. Die Auswertung erfolgt weitgehend qualitativ mit Hilfe eines mehrstufigen Kategoriensystems. Die Bildung der einzelnen Kategorien erfolgte deduktiv aus fachwissenschaftlicher Sicht. Hierbei wird ein niedrig inferenter Ansatz verfolgt, um möglichst genaue und präzise unterscheidbare Kategorien zu gewinnen. Die Ergebnisse aus den Zuordnungen zu den Kategorien werden zum Teil einer quan-

titativen Analyse unterzogen. Ziel war es unter anderem häufig vorkommende, vom fachwissenschaftlichen Konzept abweichende, Vorstellungen im Sinne naiver Theorien oder von Präkonzepten zu identifizieren.

4.2 Das Erhebungsinstrument

Für die Forschungsstudie wurde ein neues Erhebungsinstrument entwickelt, mit dem Anspruch, dass dieses weitgehend unabhängig von der Lese- und Schreibkompetenz ist, eine kurze Bearbeitungszeit aufweist, ein möglichst großes Lösungsspektrum ermöglicht und eine motivierende Aufgabenstellung beinhaltet. Im Ergebnis wurde ein Instrument entwickelt, das in Orientierung an die Strukturlegetechnik nach D. Wahl (2013) auf der Auswahl und Anordnung von Karten mit Abbildungen verschiedener Teilsysteme eines Wasserkraftwerks basiert (ausführliche Darstellung vgl. Fletcher & Kleinteich 2018).

Um den Lösungsraum einzugrenzen, wurden 13 Karten vorgegeben. Sieben Karten zeigen Bilder von sinnstiftenden und funktionellen Teilsystemen eines Wasserkraftwerks, sechs Karten weisen Bilder mit sinnlosen Teilsystemen auf (vgl. Abb. 1, S. 36).

Im Test wurden die Schüler*innen zunächst mit der Ausgangssituation konfrontiert: Eine kleine Stadt will die Wasserenergie eines in der Nähe befindlichen Bergsees nutzen und dabei eine möglichst hohe Energiemenge für die Stadt gewinnen. Hierzu sollen die Schüler*innen Vorstellungen über eine mögliche technische Lösung entwickeln. Die Schüler*innen sortieren bzw. wählen zunächst die Karten aus, die sie für sinnvoll halten. Nach der getroffenen Auswahl schließt sich das Vernetzen dieser Teilsysteme an. Dabei muss die Outputgröße des einen Teilsystems der Inputgröße des anderen Teilsystems entsprechen bis ein funktionsfähiges Gesamtsystem entsteht. Durch die vielfältigen Möglichkeiten, die Karten auszuwählen und anzuordnen, besteht trotz der Vorstrukturiertheit ein möglichst großer Lösungsraum.

4.3 Stichprobe und Erhebung

Stichprobe

206 Primarstufenschüler*innen aus zehn verschiedenen Klassen wurden an sechs unterschiedlichen Grundschulen im Winter des vierten Schuljahres im Westen Nordrhein-Westfalens untersucht. Die Auswahl der Schulen erfolgte nach dem Zufallsprinzip. Das Thema Wasserkraftwerk wurde bisher noch nicht im Unterricht thematisiert. Die Verteilung nach Geschlechtern war ungefähr homogen und das durchschnittliche Alter der Grundschul Kinder betrug 9,4 Jahre. Acht Schüler*innen an der Grundschule wurden beim Lösen der Aufgabe mit einer Eye-Trackingbrille ausgestattet und zum lauten Denken aufgefordert.

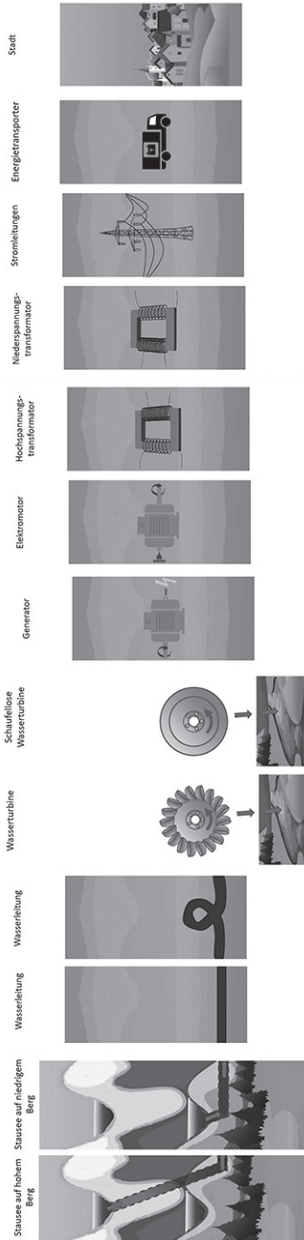


Abb. 1: Erhebungsinstrument – 13 Karten mit Teilsystemen (eigene Darstellung).

Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgt nach einem standardisierten Ablauf mit Hilfe eines Testmanuals. Der Testablauf gliedert sich in drei Phasen:

Instruktionsphase: Die Schüler*innen wurden mit dem Problem konfrontiert, dass die Stadt mit dem Namen "Bergen" aus einem nahe gelegenen Stausee eine möglichst große Energiemenge für die Stadt gewinnen möchte. Der situative Kontext wird zusätzlich über ein Poster visualisiert (siehe Abb. 2). Nach der Besprechung der Aufgabenstellung bekamen die Schüler*innen die folgende Arbeitsanweisung: „Lege die Karten mit den Bauteilen in die richtige Reihenfolge. Du brauchst nicht alle Karten zu verwenden“. Die Instruktionsphase nimmt in etwa 15 Minuten Zeit ein.

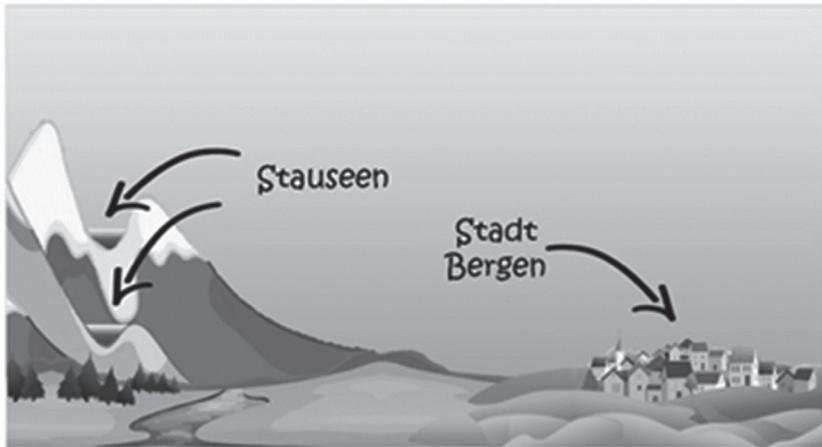


Abb. 2: Poster zur Visualisierung der Ausgangssituation (eigene Darstellung).

Testphase

Die Schüler*innen hatten dann 20 Minuten Zeit, sich mit den Karten auseinanderzusetzen, sie zu sortieren, auszuwählen und in eine Reihenfolge zu legen. Aus jeder Klasse hat je eine Schülerin oder ein Schüler die Aufgabe in einem separaten Raum mit einer Eyetracking-Brille gelöst und wurde dabei aufgefordert laut zu denken.

Datensicherung

Die Sicherung der Ergebnisse fand durch das Aufnehmen eines Fotos der gelegten Reihenfolge statt.

4.4 Auswertungsmethodik

In einem ersten Schritt wurde versucht, alle Lösungsergebnisse systematisch zu erfassen und eindeutig zu kennzeichnen. Für die Möglichkeit der Auswahl von Teilsystemen (unabhängig ob richtig oder falsch) bestehen mindestens 128 verschiedene Kombinationsmöglichkeiten. Hierbei handelt es sich nur um die Auswahlmöglichkeiten der einzelnen Teilsysteme unabhängig davon, wie Sie angeordnet werden¹. Für die richtige Kombination von zwei benachbarten Teilsystemen unabhängig von der richtigen Auswahl bestehen weitere 256 Möglichkeiten². In der Kombinatorik bedeutet dies, dass der Lösungsraum theoretisch 32.768 verschiedene Möglichkeiten der Konstruktion des Wasserkraftwerks aus den vorgegebenen Teilsystemen zulässt. Entsprechend wurden die Ergebnisse über einen 15-stelligen Binärcode kodiert. Auf Grund der Codierung bestand dann die Möglichkeit, die Anzahl der Häufigkeiten der unterschiedlichen Lösungsmöglichkeiten automatisiert auszuwerten.

Im zweiten Schritt erfolgte die Bildung eines Kategoriensystems, um eine weitere Auswertung der Ergebnisse und deren Interpretation zu ermöglichen. Ziel war es, das gesamte vorgefundene Spektrum an Vorstellungen über den Aufbau des Wasserkraftwerks vollständig zu erfassen und die Unterschiede und Varianten herauszuarbeiten. Hierbei wird zunächst ein deduktiver Ansatz der Kategorienbildung verfolgt. Die Bildung und die Ausprägung der unterschiedlichen Kategorien erfolgte auf Grundlage einer fachwissenschaftlich orientierten Analyse des möglichen Lösungsraums. Ausgangspunkt war hierbei eine systemtechnische Betrachtung der möglichen Lösungsvarianten. Die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems und wie gut der Energiefluss realisiert wurde stellen hierbei die zentralen Ordnungskriterien für die Bildung der Kategorien auf der Ebene I dar.

Auf der Ebene II erfolgt eine weitere Ausdifferenzierung der Vorstellungen mit Blick auf die Realisierung der Funktionen in den verschiedenen Hauptbereichen (Hauptsystemen). Betrachtet man die Energieflussskette eines Wasserkraftwerks, so kann diese in drei verschiedene Hauptbereiche (Hauptsysteme) untergliedert werden: erstens die mechanische Energiespeicherung, -leitung und -umformung, zweitens die mechanisch-elektrische Energiewandlung und drittens die elektrische Energieumformung und -leitung.

1 Dabei wurde noch nicht berücksichtigt, dass den Schüler*innen nicht vorgegeben wurde wie viele Karten Sie zur Konstruktion nutzen können. Die Annahme basiert auf der idealen Auswahl von 7 Karten.

2 Auch mit nicht richtig ausgewählten Teilsystemen lassen sich technisch denkbare und teilweise sinnvolle Kombinationen von zwei Teilsystemen anordnen, wenn die Ausgangsgröße des einen Systems mit der Eingangsgröße des anderen Systems übereinstimmt. Zum Beispiel wenn ein gerades Wasserrohr mit einem gebogenem Wasserrohr kombiniert wird. Dies wurde als positives Systemverständnis aufgefasst.

Ebene I		Ebene II		Ebene III	
Gesamtsystem und Energiefluss		Hauptsysteme: 1) mechanische Energieweiterleitung 2) Wandlung 3) elektr. Energieweiterleitung		Teilsysteme (richtig kombiniert)	
1. Gesamtsystem gar nicht funktionsfähig, keinerlei Energiefluss, keine zusammenhängende Teilsystemkombination	1.1 nichts	1.1 kein System			
	1.2 nur Eingangs- oder/und Ausgangssystem	1.2.1 Eingangssystem			
		1.2.2 Ausgangssystem			
		1.2.3 Eingangs- und Ausgangssystem			
2. Gesamtsystem nicht funktionsfähig, Energiefluss mehrmals unterbrochen, einzelne zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme	2.1 nur vereinzelte Teilsysteme	2.1.1 Teile der mechanischen Energieweiterleitung			
		2.1.2 Teile der elektrischen Energieweiterleitung			
		2.1.3 Teile der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung			
	2.2 ein Hauptsystem, die anderen in Teilen oder gar nicht	2.2.1 Mechanische Energieweiterleitung komplett			
		2.2.2 Wandlung			
		2.2.3 Elektrische Energieweiterleitung komplett			
		2.2.4 Teile der mechanischen Energieweiterleitung und Wandlung			
		2.2.5 Wandlung und Teile der elektrischen Energieweiterleitung			
		2.2.6 Teile der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung komplett			
		2.2.7 Mechanische komplett und Teile der elektrischen Energieweiterleitung			
		2.2.8 Teile der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung und Wandlung			
3. Gesamtsystem fikt funktionsfähig, Energiefluss einmal unterbrochen, zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme	3.1 zwei Hauptsysteme, das dritte gar nicht	3.1.1 Mechanische und elektrische Energieweiterleitung komplett			
		3.1.2 Mechanische Energieweiterleitung komplett und Wandlung			
		3.1.3 Wandlung und elektrische Energieweiterleitung komplett			
	3.2 zwei Hauptsysteme, das dritte in Teilen	3.2.1 Mechanische Energieweiterleitung komplett, Wandlung und Teile der elektrischen Energieweiterleitung			
		3.2.2 Teile der mechanischen Energieweiterleitung, Wandlung und elektrische Energieweiterleitung komplett			
4. Gesamtsystem funktionsfähig, Energiefluss durchgehend, zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme	4.1 drei Hauptsysteme, im elektrischen keine Verwendung des Transformators	4.1 Alle drei Hauptsysteme komplett ohne Verwendung des Transformators			
	4.2 drei Hauptsysteme, Verwendung des Transformators	4.2 Alle drei Hauptsysteme komplett			

Abb. 3: Kategoriensystem

Auf der dritten Ebene (III) wurde versucht die Kategorien weiter zu verfeinern und ausdifferenzieren. Hierzu wurden dann ergänzend induktive Kategorien aus den Ergebnissen der Erhebung gewonnen. Aufgrund der hohen theoretischen Anzahl der möglichen Kombinationen der Teilsysteme für die Konstruktion wur-

den auf der dritten Ebene nur solche Lösungskombinationen in das Kategoriensystem aufgenommen, die sich auch in der Praxis gezeigt haben. Die dritte Ebene umschließt insgesamt 22 Subkategorien. Im Ergebnis entstand ein Kategoriensystem, bestehend aus vier Hauptkategorien, die auf zwei untergeordneten Ebenen weiter ausdifferenziert werden (siehe Abbildung 3, S. 39). Die Hauptkategorien ordnen die Lösungsansätze der Schüler*innen in vier Stufen entsprechend ihrer Lösungsgüte aus technologischer Sicht. In der Hauptkategorie vier werden Lösungsansätze zugeordnet, die einer technischen Ideallösung am nächsten kommen. Schlusslicht bildet die Kategorie eins, in die Lösungsansätze fallen, die aus technologischer Sicht keinerlei Sinn machen.

5 Ergebnisse

5.1 Einordnung der Lösungsansätze in das Kategoriensystem

Verteilung Ebene III

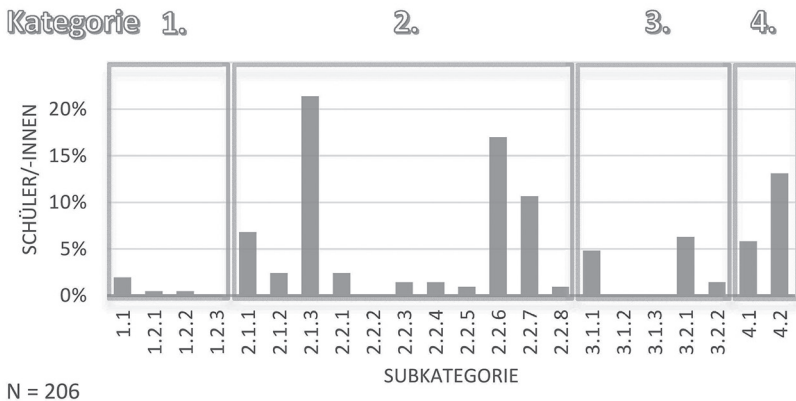


Abb. 4: Häufigkeitsverteilung der Lösungsansätze auf Ebene III (N = 206)

Insgesamt lagen 206 auswertbare Lösungsansätze der Primarstufenschüler*innen über den Aufbau eines Wasserkraftwerkes zur Auswertung vor. Diese wurden mit Hilfe des aufgezeigten Kategoriensystems den einzelnen Kategorien zugeordnet. Die Häufigkeitsverteilung zeigt, dass etwa ein Fünftel aller Ergebnisse der Primarstufenschüler*innen (19%) der Kategorie 4 zugeordnet werden kann. Dies bedeutet, diesen Schülern*innen gelingt es, die Karten zu einem theoretisch funktionsfähigen Gesamtsystem mit einer durchgehenden Energieflusskette zu kom-

binieren. Weiteren 13% gelingt es, ein fast funktionsfähiges (Kategorie 3) Gesamtsystem zu konstruieren. Die größte Anzahl der Lösungen (ca. 66%) sind der zweiten Kategorie zuzuordnen. Diese Kategorie umschließt die Schüler*innen, die einzelne Teilsysteme zusammenhängend miteinander kombinieren, das von ihnen angeordnete Gesamtsystem wäre jedoch nicht funktionsfähig und der Energiefluss ist mehrmals unterbrochen. Nur 3% der Schüler*innen kombiniert die Teilsysteme ohne erkennbaren Sinn (Kategorie 1). Bei diesen Lösungsansätzen wäre keinerlei Energiefluss möglich und es gibt keine zusammenhängenden Teilsystemkombinationen.

Die Grafik (Abb.4) macht deutlich, dass auf der dritten Differenzierungsebene die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Subkategorien sehr unterschiedlich ist. Einerseits zeigt sich, dass sich fast 63 % der Lösungsansätze in nur 4 Subkategorien (2.1.3/2.2.6/2.2.7/4.2) von insgesamt 22 Subkategorien mit jeweils deutlich über 10% Anteil einordnen lassen, andererseits finden sich Kategorien in denen nur sehr wenige oder gar keine Lösungen³ (3.1.2/3.1.3) eingeordnet werden können. Ein Ergebnis, welches deutlich macht, dass bei einem Großteil der untersuchten Schüler*innen klar eingrenzbar Vorstellungen über den Aufbau eines Wasserkraftwerks vorherrschen. Die weitere Analyse der gewählten Lösungen wird entsprechend auf diese vier am häufigsten vorkommenden Subkategorien fokussiert. Bei der Interpretation der Ergebnisse werden neben dem Bildmaterial auch die Aufnahmen zum lauten Denken genutzt.

5.2 Häufig vorkommende Schülervorstellungen über den Aufbau eines Wasserkraftwerks (Teilsystemkombinationen)

Schülervorstellungen mit Zuordnung zu der Kategorie 2.1.3

Die Subkategorie auf der dritten Differenzierungsebene mit dem größten Anteil an Schülervorstellungen ist die Kategorie 2.1.3. Ein Fünftel aller Schüler*innen kombinieren demnach nur vereinzelt Teilsysteme der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung richtig. Typisch für alle Vorstellungen in dieser Kategorie ist, dass die Wandlung von mechanischer in elektrische Energie nicht erfolgt. 26% der Schüler*innen legen beispielsweise die Wasserleitung/en direkt hinter die Wasserturbine.

3 Dies bezieht sich nur auf die untersuchte Stichprobe aus der Grundschule. Bei der Analyse von anderen Stichproben ließen sich auch Lösungen diesen Kategorien zuordnen.

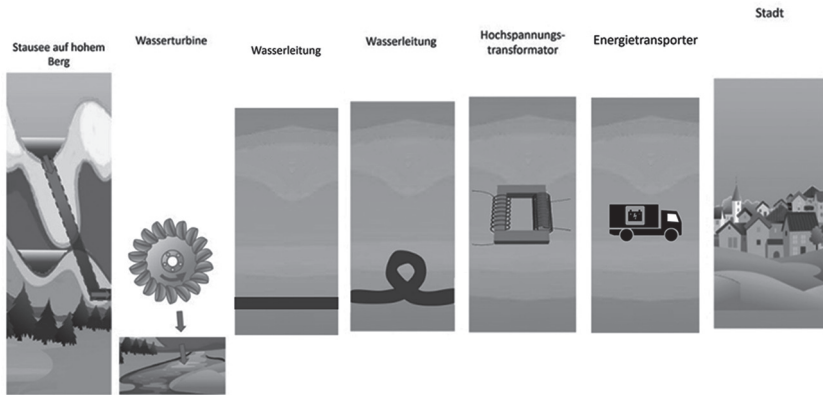


Abb. 5: Beispiel für eine Schülerlösung mit Zuordnung zur Kategorie 2.1.3

Abbildung 5 zeigt ein Ergebnis, bei der die Wasserleitungen zwischen der mechanischen und der elektrischen Energieweiterleitung genutzt werden, die Verwendung eines Generators fehlt gänzlich. Die Wasserleitungen werden von den Schüler*innen vermutlich als Transportsystem für mechanische und elektrische Energie interpretiert. 48% der Schüler*innen sehen in der Wasserleitung mit Looping einen Sinn, 52% nutzen die gerade Wasserleitung. Die Aussagen über die Looping-Wasserleitung, die durch die Eyetracking-Aufnahmen festgehalten werden konnten, sind zum Teil widersprüchlich. Als positive Eigenschaften wurde vermutet: „dass das Wasser schnell runter fließe“ und dadurch eine „Beschleunigung erfahre“ oder dass durch die längere Strecke auch mehr Wasser fließen könne. Außerdem wurde diese Wasserleitung sogar als Ersatz für die Turbine angeordnet „da sie den Generator bewege“. Als negative Eigenschaften wurde richtig vermutet, dass durch den Looping das Wasser „abgebremst“ wird.

Schülervorstellungen mit Zuordnung zu der Kategorie 2.2.6

In die Subkategorie 2.2.6 wurden Lösungen eingeordnet, bei der die elektrische Wandlung der Energie und deren Weiterleitung weitgehend korrekt kombiniert wurde und die mechanische Energiewandlung nur teilweise vorhanden ist. Typisch für diese Vorstellungen ist das Fehlen des Teilsystems Wasserturbine (Abb. 6, linkes Bild) oder dass zwischen der verwendeten Turbine und dem Generator eine Wasserleitung (Abb. 6, rechtes Bild) liegt.

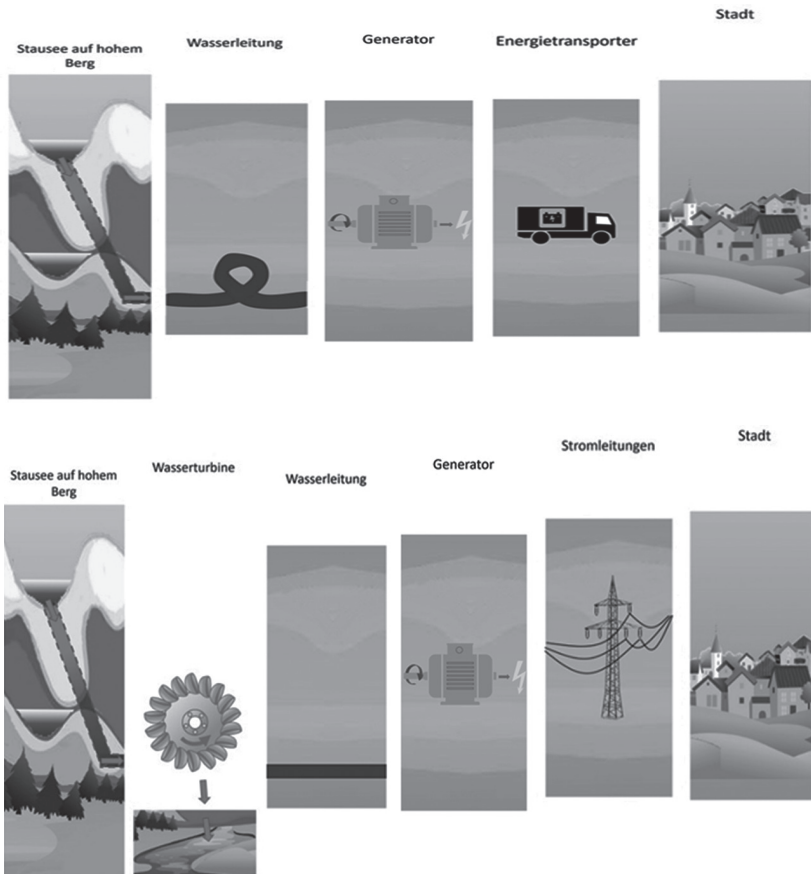


Abb. 6: Beispiele für Schülerlösungen mit Zuordnung zur Kategorie 2.2.6 und 2.2.7

Insgesamt 37% aller Schüler*innen verwendeten das technologisch unsinnige Teilsystem Energietransporter. Aussagen hierzu waren, dass „der Energietransporter die Energie in die Stadt transportiere“ oder „die Energie für den Generator transportiere“. Von den Kindern, die diese Vorstellungen zeigten, wird elektrische Energie demnach als transportfähiger Stoff interpretiert.

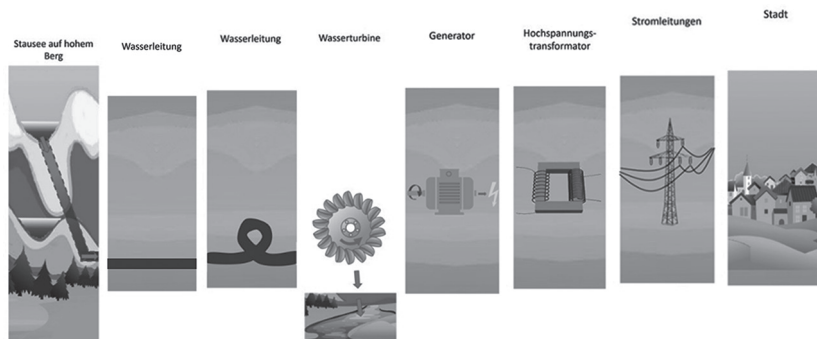


Abb. 7: Beispiel für eine Schülerlösung mit Zuordnung zur Kategorie 4.2

Schülervorstellungen mit Zuordnung zu der Kategorie 2.2.7

Die Subkategorie 2.2.7 umschließt die Ergebnisse, die hinsichtlich der elektrischen Energiewandlung und -leitung Schwächen aufweisen. Immerhin 51 % der Schüler*innen nutzen die Karte des Generators in ihrem Gesamtsystem. Allerdings wird dieser häufig falsch angeordnet. So legen beispielsweise 12% der Primarstufenschüler*innen den Generator direkt vor die Stadt (Abb. 7). Die Stromleitungen wurden von insgesamt 47% aller Schüler*innen richtig ausgewählt. Dieses System ist den Kindern vermutlich aus dem Landschaftsbild bekannt. Aussagen über die Stromleitungen waren, dass diese die elektrische Energie zur Stadt befördern und „die Häuser miteinander mit Energie verbinden“.

Schülervorstellungen mit Zuordnung zu der Kategorie 4.2

Die vierte Subkategorie, in der mehr als 12% der Schülerlösungen zugeordnet werden können, umfasst Lösungsvorstellungen, die technologisch sinnvoll sind und einer Ideallösung sehr nahekommen. Die Lösungen zeichnen sich dadurch aus, dass ein Gesamtsystem realisiert wurde mit sinnvoller Energiewandlung und einem durchgehendem Energiefluss. Eine beispielhafte Schülerlösung mit einer solchen korrekten Teilsystemkombinationen in der mechanischen, mechanisch-elektrischen (Wandlungssystem) und elektrischen Umformung und Weiterleitung zeigt die Abb. 7.

Zwar hat die Schülerin oder der Schülerin neben der geraden Wasserleitung auch die Looping-Wasserleitung verwendet, dies würde die Gesamtfunktion aber nicht wesentlich beeinträchtigen.

5.3 Geschlechtervergleich

Schaut man sich die Verteilung der Schüler*innen in den einzelnen Subkategorien getrennt nach dem Geschlecht an, zeigt sich ein eindeutiger Trend. Die Vorstel-

lungen der Mädchen sind häufiger den Kategorien eins und zwei mit weniger sinnvollen Vorstellungen zuzuordnen, hingegen sind die Vorstellungen der Jungen deutlich öfter in den Kategorien drei und vier mit technologisch anspruchsvolleren Vorstellungen vertreten. Dies wird insbesondere in der Kategorie 4.2 deutlich, die der Ideallösung am nächsten kommt.

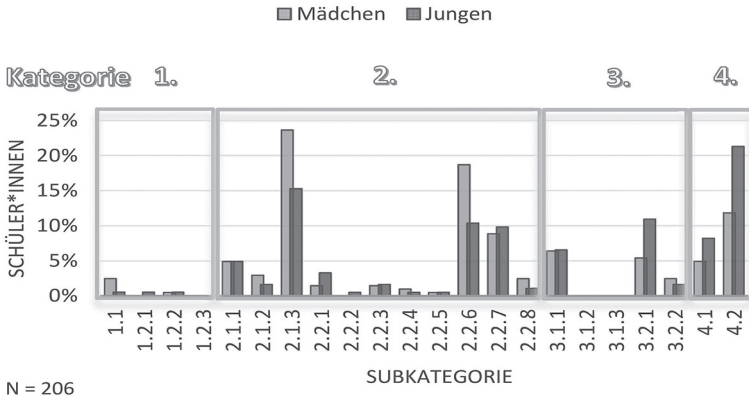


Abb. 8: Häufigkeitsverteilung der Schülerlösungen auf Ebene III, differenziert nach Geschlecht (N=206)

Fast 22% der Lösungsansätze der Jungen entsprechen der Ideallösung, wohingegen nur 12 % der Lösungen der Mädchen es in diese Kategorie schaffen. Auch in der Subkategorie 3.2.1 sind mehr als doppelt so viele Jungen wie Mädchen vertreten. Dieser Subkategorie werden Vorstellungen zugeordnet, bei der die Energieweiterleitung bis zum Generator durchgängig richtig kombiniert wurde. Dies lässt den Schluss zu, dass die Vorstellungen der Jungen über die Wandlung von mechanischer zu elektrischer Energie fachlich weiter ausgeprägt sind als die der Mädchen.

6 Zusammenfassung, Diskussion und erste didaktische Schlussfolgerungen

Ziel der Studie war es zu erforschen, inwieweit Grundschüler*innen zum Ende der Primarstufe ein Verständnis für ein komplexes technisches System entwickelt haben und welche Vorstellung damit verbunden sind. Hierzu wurde ein Testwerkzeug in Orientierung an die Strukturlegetechnik entwickelt, mit dem die Schüler*innen auf der Basis von vorgegebenen Teilsystemen ein Wasserkraftwerk nach ihren Vorstellungen konstruieren können. Beabsichtigt war dabei nicht, die

detaillierten Vorstellungen der Schüler*innen über den Aufbau und die Gestaltung der einzelnen technischen Komponenten eines Wasserkraftwerks zu erforschen, sondern die Vorstellungen zu erkunden, welche Teilsysteme die Schüler*innen für notwendig erachten, um die übergeordnete Gesamtfunktion zu realisieren.

Nach erster Einschätzung hat sich das Testwerkzeug mit dem zugeordneten Kategorienschema in der Praxis als unkompliziertes und schnelles Werkzeug bewährt. Mit Hilfe der Instrumente gelingt es, die Lösungsvorschläge der Schüler*innen über den Aufbau eines Wasserkraftwerks zu erfassen und in Orientierung an fachwissenschaftlichen Konzepten zu systematisieren, um eine Auswertung zu ermöglichen. Es müssen aber auch deutlich die Grenzen des verwendeten Instrumentes gesehen werden. Mit dem Testwerkzeug ist es nicht möglich, eine unvoreingenommene und offene Erfassung der vielfältigen Bandbreite möglicher Vorstellungen der Schüler*innen zu erfassen, wie dies evtl. mithilfe von Skizzen möglich wäre. Bedingt durch die starke Vorstrukturierung des Lösungsraums auf die Auswahl und Kombinatorik von vorgegebenen Teilsystemen können mit dem Werkzeug vermutlich eine größere Anzahl insbesondere von vorherrschenden alternativen Vorstellungen und Konzepten der Schüler*innen nicht erfasst werden. Entsprechend könnte man die kritische Frage aufwerfen, inwieweit das Instrument zur Erkundung von Schülervorstellungen geeignet ist? Schülervorstellungen sind kognitive Konstrukte, die letztendlich nur interpretativ aus den Daten zu erschließen sind, wobei der Interpretationsspielraum unterschiedlich groß und mehr oder weniger subjektiv geprägt sein kann. Das hier beschriebene Vorgehen ist als ein niedrig inferentes Auswertverfahren einzustufen mit dem Anspruch, möglichst genaue und präzise unterscheidbare Kategorien zu gewinnen, entsprechend sind die Forschungsergebnisse zu interpretieren.

Erfreulicherweise belegen die Ergebnisse der Studie, dass ein nicht unerheblicher Teil der Kinder zum Ende der Primarstufe in der Lage ist, fachlich weitgehend richtige Vorstellungen zu entwickeln über ein komplexes technisches System wie dem Wasserkraftwerk. Immerhin gelingt es 19% von den 206 getesteten Grundschüler*innen, die Karten zu einem theoretisch funktionsfähigen Gesamtsystem mit einer durchgehenden Energieflusskette zu kombinieren. Weiteren 13% gelingt es, ein fast funktionsfähiges Gesamtsystem zu konstruieren. Es ist zu vermuten, dass dieses Drittel der getesteten Kinder schon über grundlegende systemische Denkweisen verfügen, ohne die es nur schwer möglich ist, die gestellte Konstruktionsaufgabe erfolgreich zu lösen. Das bedeutet, fast ein Drittel der Kinder verfügt über Vorstellungen, die aus fachlicher Sicht eine hohe Anschlussfähigkeit haben zur Übertragung auf andere Bereiche oder zur Vertiefung des Themenfeldes. Weiterhin ist positiv festzustellen, dass die Lösungsansätze, die aus technologischer Sicht völlig ohne Sinn sind, nur einen sehr geringen Anteil von 3% ausmachen. Der Rest der Lösungsideen zeichnet sich dadurch aus, dass es den Schüler*innen nur gelungen ist, einzelne Teilbereiche des Gesamtsystems sinnvoll anzuordnen.

Dabei wurde durch die Analyse mithilfe des Kategoriensystems deutlich, dass letztendlich die Mehrzahl der erhobenen Lösungen in diesem Bereich auf wenige typische, aus fachlicher Sicht fehlerhafte Varianten, zurückzuführen sind. Diese lassen sich als naive Vorstellungen oder Fehlvorstellungen interpretieren. Die meisten fehlerhaften Vorstellungen aus fachlicher Sicht beziehen sich auf die technische Funktion der Wandlung insbesondere mit Bezug auf den Generator. Immerhin 51 % der Schüler*innen nutzen die Karte des Generators in ihrem Gesamtsystem. Allerdings wird dieser sehr häufig falsch angeordnet. Das Konzept, dass ein technisches Teilsystem eine Energieform (zum Beispiel mechanische Energie) in eine andere Energieform (zum Beispiel elektrische Energie) wandelt, wurde von den meisten Primarstufenschüler*innen vermutlich nicht richtig erkannt. Des Weiteren sind häufig fachlich nicht zutreffende Lösungen mit den elektrischen Teilsystemkombinationen verbunden. Hier werden zum Beispiel Wasserleitungen als Transportsystem für elektrische Energie genutzt oder die elektrische Energie wird als transportfähiger Stoff interpretiert (Nutzung des Energietransporters). Dies sind typische Bereiche, die sich nicht mehr direkt aus der Erfahrungswelt erschließen lassen und hohe Abstraktionsleistungen voraussetzen. Im Bereich der mechanischen Komponenten des Systems zeigen sich weniger häufig Fehlvorstellungen. Die hier häufig vorkommende Nutzung der Looping-Wasserleitung ist zwar nicht optimal, stellt aber keine grundsätzliche Fehlvorstellung da. Die Entscheidung, dass ein Stausee auf hohem Niveau besser geeignet ist als auf einem niedrigen wurde von knapp 60 % der Schüler*innen richtig getroffen. Auch die Wasserturbine mit den Schaufeln wurde von über 60% der Schüler*innen richtig ausgewählt. Die Anordnung der Turbine ist aber oft fehlerhaft, was wieder vermuten lässt, dass, ähnlich wie beim Generator, die grundsätzliche Funktion der Wandlung – die kinetische Energie des Wassers in eine mechanische Rotationsbewegung umzuwandeln – nicht richtig erkannt wurde.

Eindeutig geht aus der Analyse des Datenmaterials hervor, dass die Vorstellung der Jungen über das System Wasserkraftwerk deutlich elaborierter sind und auf ein höheres fachliches Verständnis schließen lassen als die der Mädchen. Dies wird insbesondere daran deutlich, dass es den Jungen besser gelungen ist, die grundsätzlich schwierige Funktion der Wandlung einer Energieform im System technisch sinnvoll umzusetzen. Welche Ursachen hierfür verantwortlich sind, lässt sich nur vermuten. Eventuell könnte dieser Effekt darauf zurückzuführen sein, dass Mädchen im Vergleich mit Jungen weniger Erfahrungen im Hantieren mit Werkzeugen und im Umgang mit technischem Spielzeug haben. Andererseits ist zu bedenken, dass hier der Kontext „Wasserkraftwerk“ auch einen deutlichen Einfluss darauf hat, welche Vorerfahrungen und Vorstellungen in der gegebenen Situation zum Tragen kommen. Es ist nicht auszuschließen, dass bei einem anderen Kontext mit einer höheren Affinität zu den Lebensbereichen von Mädchen die Unterschiede nicht so deutlich ausfallen.

Erste didaktische Schlussfolgerungen

Die Gestaltung von Sachunterricht in der technischen Perspektive ist ein schwieriges und sehr anspruchsvolles Unterfangen. Die meisten technischen Phänomene und Gegenstände der technischen Umwelt sind hoch komplex und intransparent, so dass die Erschließung der Funktionalität nicht ohne weiteres möglich ist. Dies trifft insbesondere auf den hier angesprochen Themenkomplex, der Energieversorgung durch ein Wasserkraftwerk, zu. Wenn man davon ausgeht, dass Schüler*innen stabile und relativ komplexe kognitive Strukturen sind, die nicht so einfach zu verändern sind, muss das Ziel von anspruchsvollen Lernsettings/ Lernstrategien sein, die bestehenden Alltagskonzepte bzw. Alltagserfahrungen der Schüler*innen zu fachlich zutreffenderen Vorstellungen weiterzuentwickeln. Es stellt sich entsprechend die Frage, welche ersten Konsequenzen sich für die Gestaltung von Lernumgebungen im Sachunterricht mit Bezug auf der Behandlung komplexer technischer Systeme, wie ein Wasserkraftwerk, aus den vorgestellten Ergebnissen der Studie ableiten lassen.

Die Befunde der Studie stützen leider das gängige Klischee, dass Jungen ein besseres Verständnis für technische Themen zeigen als Mädchen. Da die Ursachen unklar sind, ist es schwierig konkrete Schlussfolgerung daraus abzuleiten. Falls Unterschiede in der Motivation dafür ursächlich sind, könnte eine mögliche didaktische Konsequenz sein, dass man versucht die Thematik im Rahmen von Kontexten zu erklären, die von Mädchen besonders attraktiv eingeschätzt werden. Eine denkbare Alternative wäre, unter der Voraussetzung, dass der Gegenstand Wasserkraft nicht verändert wird, einen Kontext zu finden, der insbesondere Mädchen emotional anspricht. Zum Beispiel, dass eine Energieversorgung für eine abgelegene Krankenstation in einer Krisenregion konstruiert werden muss, um die dort lebenden Menschen medizinisch zu versorgen.

Durch die Analyse der Lösungen wurde deutlich, dass die Kinder insbesondere noch naive Vorstellungen haben über die eher abstrakten Funktionen, die die elektrotechnischen Bestandteile des Systems (Generator, Transformator, Hochspannungsleitungen) betreffen. Insbesondere die technische Funktion der Wandlung einer Energiegröße in eine andere stellte eine besondere Herausforderung dar. Um solche abstrakten Konzepte zu veranschaulichen und den Aufbau von anschlussfähigen Vorstellungen zu unterstützen sind Analogien und Modellvorstellungen vermutlich unerlässlich. Hier könnten evtl. Analogien oder Modelle aus der Physikdidaktik genutzt werden zur Erklärung von Phänomenen aus der Elektrizitätslehre (z. B. Analogiemodell: Wasser-Strom). Ein möglicher didaktischer Zugang zum Verständnis des Teilsystems Generator könnte auch durch den Vergleich zu einem Fahrraddynamo gelingen. Grundsätzlich ist anzunehmen, dass den meisten Schüler*innen das Dynamo-Prinzip vom Fahrrad bekannt ist, aber eine Transformation auf ein Wasserkraftwerk nicht gelingt, da der Systemgedanke noch nicht ausgeprägt ist. Eine besondere Herausforderung wird damit verbunden sein, die sehr ab-

strakte Größe Energie erfahrbar zu machen und dem Alter angepasste sachgerechte Vorstellungen zu vermitteln. Der nicht selten genutzte „Energietransporter“ zeigt, dass viele Schüler*innen noch über die naive Vorstellung verfügen, dass Energie eine direkt stoffliche Größe ist. Diese stoffliche Interpretation von Energie könnte als eine fachlich anschlussfähige Vorstellung genutzt werden, als Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung zu einem wissenschaftlichen Verständnis. Hier könnte auf konzeptueller Ebene ein Ansatz sein, dass man sich der Energie erfahrungsba- siert und phänomenologisch über die Vielfalt energetischer Erscheinungen (Wär- me, Kraftwirkungen usw.) annähert und über Metaphern, Analogien und Modelle das abstrakte Konzept allmählich erschließt.

Abschließend kann resümiert werden, dass Kinder im Grundschulalter grund- sätzlich in der Lage sind sinnvolle Vorstellungen über ein komplexes technisches System zu entwickeln. Dies deutet darauf hin, dass der Anspruch ein system- und problemorientiertes Denken als übergreifendes Konzept schon in der Primarstufe zu entwickeln nicht unrealistisch ist.

Literatur

- Blumör, R. (1993): Schülerverständnisse und Lernprozesse in der elementaren Optik: Ein Beitrag zur Didaktik des naturwissenschaftlichen Sachunterrichts in der Grundschule. Magdeburg: Westarp Wis- senschaften.
- Claus, J., Stork, E. & Wiesner, H. (1982): Optik im Sachunterricht? Eine empirische Untersuchung zu Vorstellungen und Lernprozessen. In: Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe 10, 82-92.
- Duit, R. (1997): Alltagsvorstellungen und Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht – For- schungsstand und Perspektiven für den Sachunterricht in der Primarstufe. In: Köhnlein, W., Mar- quardt-Mau, B. & Schreiber, H. (Hg.): Kinder auf dem Wege zum Verstehen der Welt. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 233-246.
- Duit, R. (2007): Alltagsvorstellungen berücksichtigen. In: Müller, R., Wodzinski, R. & Hopf, M. (Hg.): Schülervorstellungen in der Physik. 2. unveränderte Auflage. Bad Honnef: Aulis, 3-7.
- Fletcher, S. & Kleinteich, A. (2018): Die Entwicklung des technischen Systemdenkens im Übergang von der Primar- zur Sekundarstufe. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 6(1), 85-100.
- Fraune, K. (2013): Modeling system thinking – assessment, structure validation and development. Kiel: Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (2013): Perspektivrahmen Sachunterricht (voll- ständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Häufßer, P., Bündler, W., Duit, R., Gräber, W. & Mayer, J. (1998): Naturwissenschaftliche Forschung: Perspektiven für die Unterrichtspraxis. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN).
- Heran-Dörr, E. (2012): Von Schülervorstellungen zu anschlussfähigem Wissen im Sachunterricht. Kiel: IPN Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik an der Universität Kiel.
- Jonen, A., Möller, K. & Hardy, I. (2003): Lernen als Veränderung von Konzepten – am Beispiel einer Untersuchung zum naturwissenschaftlichen Lernen in der Grundschule. In: Cech, D., Schwier, H.-J. (Hrsg.): Lernwege und Aneignungsformen im Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 93-108.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Re- konstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftliche Forschung und Entwicklung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 3 (3), 2-18.

- Kircher, E. & Rohrer, H. (1993): Schülervorstellungen zum Magnetismus in der Primarstufe. *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe* (21), 336-341.
- Kircher, E. & Engel, C. (1994): Schülervorstellungen über Schall. *SMP*, 22 (2), 53-57.
- Koller, R. (1985): *Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Grundlagen, Arbeitsschritte, Prinziplösungen*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer, 2. Auflage.
- Krüger, D. (2007): Die Conceptual Change-Theorie. In: Krüger, D., Vogt, H. (Hrsg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. Berlin, Heidelberg: Springer, 81.
- Landwehr, N. (1995): *Neue Wege der Wissensvermittlung: Ein praxisorientiertes Handbuch für Lehrpersonen in schulischer und beruflicher Aus- und Fortbildung* 2. Auflage. Aarau: Sauerländer
- Max, C. (1997): Verstehen heißt Verändern – Conceptual Change als didaktisches Prinzip des Sachunterrichts. In: Meier, R., Unglaube, H. & Faust-Siehl, G. (Hrsg.): *Sachunterricht in der Grundschule. Frankfurt am Main: Arbeitskreis Grundschule – Der Grundschulverband – e. V.*, 62-89.
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW (2008): *Lehrplan Sachunterricht*. In: *Richtlinien und Lehrpläne für die Grundschule in Nordrhein-Westfalen*. Hrsg. von Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. Frechen: Ritterbach.
- Möller, K. (2010a): Lernen von Naturwissenschaft heißt: Konzepte verändern. In: Labudde, P. (Hrsg.): *Fachdidaktik Naturwissenschaft*. Bern, Stuttgart, Wien: Haupt, 57-72.
- Möller, K. (2013): Lernen von Naturwissenschaften heisst: Konzepte verändern. In: Labudde, Peter (Hrsg.): *Fachdidaktik Naturwissenschaft. 1.-9. Schuljahr. 2., korrigierte Auflage*. Bern: Haupt Verlag, S. 57-72.
- Murmann, L. (2013): Dreierlei Kategorienbildung zu Schülervorstellungen im Sachunterricht? Text, Theorie und Variation – Ein Versuch, methodische Parallelen und Herausforderungen bei der Erschließung von Schülervorstellungen aus Interviewdaten zu erfassen. In: www.widerstreit-sachunterricht.de
- Opitz, S. T., Harms, U., Neumann, K., Kowalzik, K. & Frank, A. (2015). Students' energy concepts at the transition between primary and secondary school. *Research in Science Education*, 45, 691-715.
- Pech, D. & Kaiser, A.: (2004): Problem und Welt. Ein Bildungsverständnis und seine Bedeutung für den Sachunterricht. In: Kaiser, Astrid; Pech, Detlef (Hrsg.) (2004): *Die Welt als Ausgangspunkt des Sachunterrichts*. Baltmannsweiler: Schneiderverlag.
- Reinfried, S. (2007): Alltagsvorstellungen und Lernen im Fach Geographie. Zur Bedeutung der konstruktivistischen Lehr-Lern-Theorie am Beispiel des Conceptual-Change. In: *Geographie und Schule*, 68, 19-28.
- Ropohl, G. (1999): *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik*. München, Wien: Carl Hanser.
- Ropohl, G. (2009): *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik*. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.
- Roth, K. (1994): *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Wahl, D. (2013): *Lernumgebungen erfolgreich gestalten: Vom trägen Wissen zum kompetenten Handeln*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Wiesner, H. (1995): Untersuchungen zu Lernschwierigkeiten von Grundschulern in der Elektrizitätslehre. In: *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe* (22), 50-58.
- Wiesner, H. (1985): Untersuchungen zu Vorstellungen von Primarstufenschülern über Begriffe und Phänomene aus der Wärmelehre. In: H. Mikelskis (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie*, Alsbach. 242-244.
- Wodzinski, R. (2007): Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten. In: Müller, R., Wodzinski, R. & Hopf, M. (Hrsg.): *Schülervorstellungen in der Physik. 2. unveränderte Auflage*. Bad Honnef: Aulis, 23-38.
- Zolg, M. (2001): Das Fahrrad – ein integratives Thema für den Sachunterricht. *Materialbeilage zu: Grundschulunterricht* 2, 1-16.