

**Experimenteller Biologieunterricht zu Aspekten der Gentechnik im  
Lernort Labor: empirische Untersuchung zu  
Akzeptanz, Wissenserwerb und Interesse**

(am Beispiel des Demonstrationslabors Bio-/Gentechnik der Universität Bayreuth mit  
Schülern aus dem Biologie-Leistungskurs des Gymnasiums)

Inaugural-Dissertation  
zur  
Erlangung des Doktorgrades  
der Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften  
der Universität Bayreuth

vorgelegt von  
**Franz-Josef Scharfenberg**  
aus Bayreuth

Juni 2005

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von September 2002 bis Juni 2005 am Lehrstuhl für Didaktik der Biologie der Universität Bayreuth unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. S. Klautke durchgeführt.

Vollständiger Abdruck der Fakultät Biologie, Chemie und Geowissenschaften genehmigten Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaft (Dr. rer.nat.).

Tag der Einreichung: 8. 6. 2005

Tag des wissenschaftlichen Kolloquiums: 27.7.2005

1. Gutachter: Prof. Dr. S. Klautke

2. Gutachter: Prof. Dr. F.X. Bogner

3. Gutachter: Prof. Dr. W. Schumann

Prüfungsausschuss: Prof. Dr. K. Dettner

Prof. Dr. B. Westermann (Vorsitz)

## Danksagung

Zum Gelingen der vorliegenden Arbeit haben viele beigetragen; ihnen sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Mein aufrichtiger Dank gilt in erster Linie Herrn Prof. Dr. **Siegfried Klautke**. Während jeder Phase der Promotion begleitete er meine Arbeit aufgeschlossen und interessiert. Er war jederzeit ansprechbar und diskussionsbereit. Seine konstruktive Kritik war stets anregend.

Ebenso bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. **Franz X. Bogner**, seinem Nachfolger am Lehrstuhl für Didaktik der Biologie, dass er die Arbeit weiterhin ermöglichte.

Mein weiterer Dank gilt allen Mitarbeitern am Lehrstuhl, insbesondere Herrn Dr. **Reinhard Tutschek** und Herrn Dr. **Matthias Wilde** für immer fruchtbare Diskussionen und Anregungen sowie Frau **Sabine Hübner** für ihre Hilfe bei der Einarbeitung in die statistische Auswertung und ihre wertvollen Hinweise.

Ferner bin ich zu Dank verpflichtet:

- Herrn Prof. Dr. **Jürgen Alves**, Herrn Prof. **Michael F. Bruist**, Ph.D., Herrn **Timothy Driscoll**, M.S., Herrn PD Dr. **Christoph M. Schuster** und Herrn Prof. Dr. **Benedikt Westermann**, die mir Materialien für den Unterricht zur Verfügung gestellt haben;
- Frau Junior-Prof. Dr. **Claudia Nerdel** für ihre Hilfe bei der Einarbeitung in die probabilistische Testauswertung;
- den beteiligten **wissenschaftlichen Hilfskräften**;
- allen **Kolleginnen** und **Kollegen** mit ihren **Schülern**, die an der Untersuchung teilgenommen haben.

Das **Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen** und die **Deutsche Forschungsgemeinschaft** unterstützten das Demonstrationslabor finanziell, das **Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultus** ermöglichte die vorliegende Studie durch meine Abordnung an die Universität Bayreuth und genehmigte die Durchführung einer Erhebung an Gymnasien.

Zu guter Letzt möchte ich meiner Familie für ihre Unterstützung danken.



## Inhaltsverzeichnis

### Abkürzungen

<b>I.</b>	<b>Einleitung</b> .....	1
1.	Zum Forschungsgegenstand .....	1
2.	Ziele der Untersuchung .....	6
2.1	Modulentwicklung .....	6
2.2	Empirische Untersuchung .....	6
<b>II.</b>	<b>Theoretischer Rahmen der Untersuchung</b> .....	7
1.	Experimentieren im Biologieunterricht .....	7
1.1	Begriffsklärungen .....	7
1.1.1	Forschungsexperimente .....	8
1.1.2	Unterrichtsexperimente .....	11
1.2	Typologie der Unterrichtsexperimente .....	14
1.3	Zielvorstellungen zum unterrichtlichen Experimentieren .....	15
1.4	Kritische Würdigung ausgewählter empirischer Studien .....	18
1.4.1	Häufigkeit des Experimentierens in der Schule .....	18
1.4.2	Wirksame Effekte von Experimenten auf Schüler .....	19
2.	Der außerschulische Lernort Labor .....	23
2.1	Begriffsklärung .....	23
2.2	Experimentieren im Lernort Labor .....	24
3.	Theoretische Grundlagen zu den überprüften Konstrukten .....	27
3.1	Akzeptanz .....	27
3.1.1	Begriffsklärung .....	27
3.1.2	Untersuchungsbezogene Überlegungen .....	29
3.2	Wissenserwerb .....	30
3.2.1	Konstruktivistische Vorstellungen zum Lernen .....	31
3.2.2	Gegenüberstellung von Lernumgebungen nach den Prinzipien von Instruktion und Konstruktion .....	33
3.2.3	Folgerungen für den Unterricht .....	35
3.2.4	Cognitive-Load-Theorie .....	37
3.3	Interesse .....	39
3.3.1	Begriffsbestimmung .....	39
3.3.2	Konzepte des Interesses .....	42
<b>III.</b>	<b>Biologiedidaktische Grundlagen des Experimentalunterrichts im Lernort Labor</b> .....	46
1.	Voraussetzungen zur unterrichtlichen Umsetzung .....	46
1.1	Das Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik .....	46
1.2	Allgemeine didaktische Vorüberlegungen .....	47
1.3	Fachdidaktische Begründungen zur Stoffauswahl .....	49
1.4	Fachliche Charakterisierung der Unterrichtsinhalte .....	55
1.4.1	Das GFP-System .....	55
1.4.1.1	Das grün fluoreszierende Protein GFP .....	55
1.4.1.2	Genetische Aspekte .....	60
1.4.1.3	Molekularbiologische Anwendungen .....	62

## II INHALTSVERZEICHNIS

---

1.4.2	Ethische Reflektionsphase .....	65
1.4.2.1	Ausgewählte monogene Erbkrankheiten .....	65
1.4.2.2	Gentherapeutische Ansätze .....	66
1.5	Auswahl der Schülerexperimente .....	70
2.	Unterrichtliche Umsetzung .....	74
2.1	Lernziele und Lerninhalte .....	74
2.2	Ablauf des Experimentalunterrichts .....	78
2.3	Beispielhafte Schülerergebnisse .....	81
2.4	Vergleich des experimentellen und des nicht experimentellen Unterrichts .....	83
<b>IV.</b>	<b>Hypothesenbildung</b> .....	<b>84</b>
1.	Vorüberlegungen .....	84
2.	Hypothesen .....	85
2.1	Akzeptanz .....	85
2.1	Wissenserwerb .....	86
2.3	Interesse .....	86
3.	Einfluss weiterer unabhängiger Variablen .....	87
<b>V.</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>88</b>
1.	Testtheorien .....	88
1.1	Gütekriterien der klassischen Testtheorie .....	89
1.2	Die latente Klassenanalyse – ein probabilistisches Testmodell .....	92
2.	Vorstudien .....	93
2.1	Pilotstudie .....	93
2.2	Voruntersuchung .....	93
2.2.1	Folgerungen für die Testkonstruktion der Studie .....	93
2.2.2	Die Variable Unterrichtszeit .....	96
2.2.3	Die Variable Vorwissen .....	97
2.2.4	Einschätzung des Pretest-Effekts .....	98
3.	Stichprobe .....	98
4.	Erhebungsinstrument Schüler-Fragebogen .....	101
4.1	Überblick .....	102
4.2	Subtest Akzeptanz .....	105
4.2.1	Testkonstruktion .....	105
4.2.2	Analyse der Gütekriterien .....	106
4.2.2.1	Auswertungsobjektivität .....	106
4.2.2.2	Dimensionsreduktion und Reliabilitätsanalyse ...	108
4.3	Subtest Wissenserwerb .....	112
4.3.1	Testkonstruktion .....	112
4.3.2	Untersuchungstechnische Analyse .....	114
4.3.2.1	Gütekriterien der klassischen Testtheorie .....	114
4.3.2.2	Latente Klassenanalyse .....	117
4.4	Subtest Interesse .....	120
4.4.1	Testkonstruktion .....	120
4.4.2	Dimensionsreduktion und Reliabilitätsanalyse .....	122
5.	Auswertung .....	125
5.1	Kodierungen und Größenberechnungen .....	125

5.2	Statistische Behandlung und Darstellung der Daten .....	128
6.	Untersuchungsdesign .....	130
<b>VI.</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>133</b>
1.	Befunde zum Subtest Akzeptanz .....	133
1.1	Resultate der Gesamtgruppe .....	133
1.2	Vergleich der Unterrichtsgruppen .....	136
1.2.1	Betrachtung der Akzeptanz-Scores .....	136
1.2.2	Ergebnisse zu den Items mit Reihenantworten .....	139
1.3	Teilzusammenfassung .....	142
2.	Befunde zum Subtest Wissenserwerb .....	143
2.1	Resultate der Gesamtgruppe .....	143
2.1.1	Kognitive Veränderungen in der Gesamtgruppe .....	143
2.1.2	Beziehungen zu anderen Variablen .....	146
2.1.3	Resultate der klassifizierenden Analyse .....	148
2.1.4	Teilzusammenfassung .....	150
2.2	Kognitive Veränderungen innerhalb der Untersuchungsgruppen .....	151
2.3	Vergleich der Untersuchungsgruppen .....	152
2.3.1	Das Wissen zu den verschiedenen Testzeitpunkten ...	152
2.3.2	Differenz- und Lernerfolgsgößen .....	152
2.3.2.1	Differenzgrößen .....	152
2.3.2.2	Kognitiver Lernerfolg .....	154
2.3.3	Itemtypenbezogene Effekte .....	156
2.3.3.1	Items mit der Anforderungsstufe Transfer .....	156
2.3.3.2	Inhaltlich differenzierte Itemgruppen .....	158
2.3.4	Beziehungen zu anderen Variablen .....	162
2.3.5	Resultate der klassifizierenden Analyse .....	164
2.3.6	Teilzusammenfassung .....	167
3.	Befunde zum Subtest Interesse .....	169
3.1	Resultate der Gesamtgruppe .....	169
3.1.1	Betrachtung des gesamten Subtests .....	169
3.1.2	Analyse der Faktoren-Scores .....	170
3.1.3	Beziehungen zu anderen Variablen .....	172
3.2	Veränderungen des Interesses innerhalb der Untersuchungsgruppen in der Teilgruppe Mädchen .....	176
3.3	Vergleich der Unterrichtsgruppen in der Teilgruppe Mädchen .....	178
3.3.1	Änderungen des Interesses .....	178
3.3.2	Beziehung zu anderen Variablen .....	180
3.4	Teilzusammenfassung .....	180
4.	Signifikante Korrelationen zwischen Größen aus unterschiedlichen Subtests .....	181
<b>VII.</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b> .....	<b>185</b>
1.	Methodische Aspekte der Studie .....	185
1.1	Güte des Erhebungsinstruments .....	185
1.2	Gegenüberstellung der quantitativen und der qualitativen Auswertung .....	190

## IV INHALTSVERZEICHNIS

---

1.3	Bewertung möglicher statistischer Fehlentscheidungen .....	191
2.	Überprüfung der Hypothesen .....	192
2.1	Akzeptanz .....	192
2.2	Wissenserwerb .....	195
2.3	Interesse .....	204
3.	Experimentalunterricht im Lernort Labor .....	208
4.	Ausblick auf mögliche Folgeuntersuchungen .....	211
<b>VIII.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>213</b>
<b>IX.</b>	<b>Summary .....</b>	<b>216</b>
<b>X.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>219</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>243</b>
	<b>Erklärung .....</b>	<b>393</b>



## Abkürzungen

A	Anteile
Å	Angström
Abb.	Abbildung
al.	alteri
Ala	Alanin
AMP	Adenosinmonophosphat
Anh.	Anhang
ARCS	Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction
Arg	Arginin
bp	Basenpaare
bspw.	beispielsweise
BUVK	Bundesverband der Unfallkassen
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAP	Catabolite gene activator protein
CD34	Oberflächenantigen
c-DNA	Copie-DNA
Cla	Claryophanum latum
CLT	Cognitive-Load-Theorie
d.h.	das heißt
DNA	Desoxyribonukleinsäure
E	Erweiterung
E.	Experiment
EC	Enzyme Commission
Eco RI	Escherichia-coli-Restriktionsenzym I
EschG	Embryonenschutzgesetz
ESPT	Excited State Proton Transfer
ev.	evangelisch
evtl.	eventuell
f./ff.	folgende
FDA	Food and Drug Administration
FRET	Fluoreszenz-Resonanz-Energie-Transfer
FS	Faktorenstruktur
geschlechtsabh.	geschlechtsabhängig
GFP	grün fluoreszierendes Protein
Glu	Glutaminsäure
Gly	Glycin
Gr.	Gruppe
GSO	Gymnasiale Schulordnung für die Gymnasien in Bayern
GZ	Grobziel
H	Hypothese
h	Stunde
i.d.R.	in der Regel
IPN	Leibniz-Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften
Kap.	Kapitel
kath.	katholisch
λ	Wellenlänge
LB-Medium	Lennox-Broth-Medium
Le	Lerner
li.	links
Met	Methionin
Mi.	Mitte
min	Minute
MNG	Mathematisch-naturwissenschaftliche Ausbildungsrichtung/Zweig
m-RNA	Messenger-RNA
N	Anzahl
n.b.	nicht bekannt
nm	Nanometer
n.ü.	nicht überprüft

## VI ABKÜRZUNGEN

---

<b>NCBI</b>	<b>National Center for Biotechnology Information</b>
<b>NIH</b>	<b>National Institute of Health</b>
<b>Nr.</b>	<b>Nummer</b>
<b>NSD</b>	<b>no significant difference</b>
<b>NT</b>	<b>Nachtest</b>
<b>OECD</b>	<b>Organization for Economic Co-operation and Development</b>
<b>ORF</b>	<b>Open reading frame</b>
<b>p</b>	<b>Wahrscheinlichkeit</b>
<b>pBAD/ pGLO</b>	<b>Plasmid-Bezeichnungen</b>
<b>PEI</b>	<b>Paul-Ehrlich-Institut</b>
<b>Phe</b>	<b>Phenylalanin</b>
<b>PISA</b>	<b>Programme for International Student Assessment</b>
<b>PISA-E</b>	<b>PISA-Erweiterungsstudie</b>
<b>PRONaT</b>	<b>Pro Naturwissenschaften und Technik</b>
<b>Pst</b>	<b>Providencia stuartii</b>
<b>R</b>	<b>Rest</b>
<b>re.</b>	<b>rechts</b>
<b>Rel.</b>	<b>Reliabilität</b>
<b>RNA</b>	<b>Ribonukleinsäure</b>
<b>S.</b>	<b>Seite</b>
<b>s.</b>	<b>siehe</b>
<b>SCID-X1</b>	<b>Severe Combined Immunodeficiency Disease X1</b>
<b>Ser</b>	<b>Serin</b>
<b>STS</b>	<b>Steroid -Sulfatase</b>
<b>StUK</b>	<b>Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus</b>
<b>StUKWK</b>	<b>Bayerisches Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst</b>
<b>Tab.</b>	<b>Tabelle</b>
<b>Thr</b>	<b>Threonin</b>
<b>TIMSS</b>	<b>Third International Mathematics and Science Study</b>
<b>Tyr</b>	<b>Tyrosin</b>
<b>u.</b>	<b>und</b>
<b>u.a.</b>	<b>unter anderem</b>
<b>USA</b>	<b>Vereinigte Staaten von Amerika</b>
<b>u.U.</b>	<b>unter Umständen</b>
<b>UV</b>	<b>Ultraviolett</b>
<b>v.</b>	<b>von</b>
<b>Val</b>	<b>Valin</b>
<b>Ve</b>	<b>Verlerner</b>
<b>veränd.</b>	<b>verändert</b>
<b>vgl.</b>	<b>vergleiche</b>
<b>vs.</b>	<b>versus</b>
<b>VT</b>	<b>Vortest</b>
<b>v.v.</b>	<b>vice versa</b>
<b>wt</b>	<b>Wildtyp</b>
<b>X-</b>	<b>X-chromosomal</b>
<b>z.B.</b>	<b>zum Beispiel</b>
<b>z.T.</b>	<b>zum Teil</b>
<b>ZeUS</b>	<b>Zentrum für empirische Unterrichts- und Schulforschung</b>

# I. Einleitung

## 1. Zum Forschungsgegenstand

Die Veröffentlichung der beiden grundlegenden Studien zur schulischen Leistung im naturwissenschaftlichen Bereich, „Third International Mathematics and Science Study (TIMSS, Beaton et al. 1996) und “Programme for International Student Assessment” (PISA, Baumert et al. 2001, OECD 2005) zeigt, dass deutsche Schüler im internationalen Vergleich nur im Mittelfeld liegen. In der naturwissenschaftlichen Grundbildung (scientific literacy) <sup>1</sup> hat sich Deutschland bei der ersten PISA-Studie 2000 noch am oberen Ende einer Gruppe von 13 Ländern wiedergefunden, die unter dem OECD-Durchschnitt (Organization for Economic Co-operation and Development) abgeschlossen haben (Prenzel et al. 2001, S. 229). Erste Ergebnisse der zweiten PISA-Erhebung 2003 weisen zwar signifikante Verbesserungen nach (OECD 2005, S. 339), die Bundesrepublik weicht jedoch nicht signifikant vom OECD-Durchschnitt ab und bildet mit drei anderen Ländern (Ungarn, Polen und Slowakische Republik) das Mittelfeld (OECD 2005, S. 338). Auch wenn die Schülerleistungen im Bereich Naturwissenschaften erst in der Folge-Erhebung 2006 als Hauptbereich vorgesehen sind (Baumert et al. 2002, S. 13), haben sich doch bereits in ersten Studie knapp über ein Drittel der Fragen auf das Unterrichtsfach Biologie (Prenzel et al. 2001, S. 202) bezogen, während in der zweiten Erhebung deren Anteil unter 10 % gelegen hat (OECD 2005, S. 385). Eine größere fächerbezogene Aussagekraft besitzt die nationale PISA-Erweiterungsstudie (PISA-E), die, speziell in den Gymnasien, eine durchgängig höhere Fachkompetenz für die Biologie im Vergleich zu den Fächern Physik und Chemie aufzeigt (Prenzel et al. 2002, S. 151 ff.). Trotzdem überschreiten nur sechs Bundesländer in der Biologie-Kompetenz den internationalen Durchschnittswert und müssten, „um sich auf internationalem Niveau zu profilieren, noch von internationalen Spitzenreitern lernen“ (Prenzel et al. 2002, S. 157).

Schon bei der Auswertung der TIMS-Studie ist festgestellt worden, dass in Deutschland die „Defizite (...) insbesondere im Bereich konzeptuellen Verständnisses und im Verständnis naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen“ (Baumert

---

<sup>1</sup> Definiert u.a. als „Fähigkeit, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen ( übersetzt in Prenzel 2002, S. 129, „capacity to use scientific knowledge, to identify questions and to draw evidence-based conclusions“, OECD 2000, S. 14)

et al. 1997, S. 22) liegen. Zunächst sollte die „Qualitätsentwicklung“ zur Verbesserung dieser Situation in der Schule ansetzen und zwar primär bei der methodisch-didaktischen Gestaltung des Unterrichts (Baumert et al. 2001, S. 41). Entsprechend werden die PISA-Ergebnisse auch in der Biologie-Didaktik rezipiert: Es gilt, eine zu geringe Problemorientierung des naturwissenschaftlichen Unterrichts zu überwinden und mehr Anwendungsbezüge, auch fachübergreifend, für die Schüler sichtbar zu machen. Die „fachspezifische Methodenkompetenz“ und „darin vor allem die Fähigkeit zu wissenschaftlichem Prozessdenken“ werden als zentrale Kriterien eines qualitativ besseren Biologieunterrichts der Zukunft gesehen (Mayer 2002, S. 82). Daneben wird auch ein besserer Anschluss „des wissenschaftlichen Wissens an lebensweltliche Vorstellungen und Erfahrungen“ gefordert (Kattmann 2003, S. 122). Wesentlich für naturwissenschaftliches Lernen und Verstehen ist auch ein richtiges Verhältnis von theoretischen und praktischen Unterrichtsphasen. „Im derzeitigen Unterricht“ scheint „die Balance zu Gunsten der Fakten- und Wissensorientierung und zu Ungunsten der Praxis- und Handlungsorientierung verschoben“ (Euler 2001, S.16). Somit ergibt sich, bis hin zur politischen Ebene, die Forderung nach einem Unterricht, der im naturwissenschaftlichen Bereich „zwingend (...) Praktika“ einschließt (Schavan 2002, S. 145 f.).

Diesem Anspruch an den Biologieunterricht stehen empirische Untersuchungen gegenüber, die aufzeigen, dass der tatsächliche experimentelle Unterrichtsanteil relativ gering ist (vgl. z.B. Füller 1992, S. 1 f., Berck 2001, S.117, Eschenhagen et al. 2003, S. 244).

Deshalb kommt in diesem Bereich außerschulischen Lernorten eine große Bedeutung zu. Besonders der Lernort Labor kann hier „eine wichtige kompensatorische Funktion (...) als Zusatzangebot zum Unterricht haben“ (Euler 2001, S.25). Ein solcher Lernort versucht „Schülerinnen und Schülern (...) experimentelles Arbeiten zu ermöglichen, mit dem Ziel“, ihnen „ein realistisches Bild von den Aufgaben, Arbeitsweisen und Leistungen der Naturwissenschaften zu vermitteln“ (Prenzel & Ringelband 2001, S.7). Damit werden „Möglichkeiten von authentischer und praktischer Lernerfahrung jenseits des konventionellen Unterrichts bereitgestellt“ (Euler 2001, S.17). Die Schaffung möglichst „authentischer“ Lernsituationen“ ist auch eine Forderung, die unter Bezug auf aktuelle „konstruktivistische Modellvorstellungen zum Wissenserwerb“ im Rahmen von

Instruktionsmodellen des situierten Lernens gestellt wird (Moschner 2003, S. 55). Dabei wird Lernen vermehrt als ein aktiver Konstruktionsprozess des Lerners aufgefasst (Gerstenmaier & Mandl 1995).

In Deutschland sind in den letzten Jahren zahlreiche derartige außerschulische Lernorte entstanden (Engeln 2001, Ley 2002, Jenett & Kohse-Höinghaus 2003), speziell im Bereich der Molekularbiologie (Maxton-Küchenmeister & Herrmann 2003). Auch die Universität Bayreuth verfügt mit dem „Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik“<sup>2</sup> über ein solches Schülerlabor.<sup>3</sup>

„Offene Fragen“ in der didaktischen Forschung sind allerdings, ob und welche „Wirkung auf Lernprozesse und auf die motivationale Orientierung“ bei den besuchenden Schülern durch das Experimentieren im außerschulischen Lernort ausgelöst wird (Euler 2001, S.17).

Bisher gibt es nur vereinzelte Studien zur Beantwortung dieser Fragen in Bezug auf Schülerlabore:

Im „teutolab“, dem Mitmach- und Experimentierlabor der Fakultät Chemie an der Universität Bielefeld, wird die „Analyse motivationaler und lernpsychologischer Effekte“ im Labor (Hannappel 2005) erforscht. Erste Ergebnisse zeigen eine positive Wirkung von Animismen bei der Vermittlung chemischer Sachverhalte (Püttschneider & Lück 2004) und weisen auf eine „positive Beeinflussung der Überzeugung vom eigenen Chemieverständnis“ hin (Heuermann 2004).

Im Schülerlabor Biologie der Justus-Liebig-Universität Gießen werden Schüler videographiert und ihre epistemologischen Überzeugungen erfasst, während sie Naturphänomene beobachten. Erste Ergebnisse verdeutlichen, dass sowohl vorhandenes Faktenwissen als auch existierende Vorstellungen zu Denk- und Arbeitsformen der Biologie von den Schülern bei ihren Beobachtungen nicht angewandt werden (Ziemek et al. 2003, S. 28). Vergleichbares gilt für die Verwendung biologischer Fachbegriffe (Ziemek & Graf 2005, S. 187).

---

<sup>2</sup> Eröffnung am 16.9.2002

<sup>3</sup> Finanzielle Förderung durch das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen und die Deutsche Forschungsgemeinschaft; personelle Unterstützung durch das Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultus

Die Überprüfung der motivationalen Bedingungen naturwissenschaftlichen Lernens ist das Ziel eines Kooperationsprojektes des Zentrums für empirische Unterrichts- und Schulforschung (ZeUS) der Universität Göttingen, Didaktik der Biologie, mit dem „XLAB-Göttingen“, einem von einem Verein getragenen Schülerlabor. Erste Teilergebnisse weisen auf die Bedeutung des naturwissenschaftlichen Fachinteresses und des entsprechenden Selbstkonzeptes hin (Holstermann & Bittner 2004).

Im Rahmen der Initiative Pro Naturwissenschaften und Technik (PRONaT) werden am Leibniz-Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) Projekte von bisher fünf außerschulischen Lernorten in Schleswig-Holstein koordiniert und evaluiert. Im Zentrum der Forschung stehen die Untersuchung der kognitiven und motivationalen Wirkung von außerschulischen Lernorten auf Schüler und die Bedeutung von Vor- und Nachbereitung auf die Effektivität des Besuchs eines außerschulischen Lernorts (IPN 2004, S. 112). Erste Teilergebnisse verweisen auf eine hohe Akzeptanz der Veranstaltungen und den Einfluss des vorhandenen Vorwissens (Glowinski & Schoeps 2004). In weiteren Studien ist im Bereich der Physik speziell die Frage untersucht worden, „inwieweit Schülerlabors das Potential haben, Interesse an den Naturwissenschaften nachhaltig zu fördern“ (Engeln 2004, S. 5 f., vgl. auch Glowinski & Bayrhuber 2005, S. 183). Die bisherigen Resultate lassen vermuten, dass die von den Schülern wahrgenommenen Merkmale des Lernorts Labor unterschiedlich auf einzelne Komponenten des erfassten aktuellen Interesses wirken. Entscheidend ist dabei die subjektiv wahrgenommene Herausforderung auf der kognitiven Ebene. Eine Einbettung des Laborbesuchs in den Unterricht liegt i.d.R. nicht vor (Engeln 2004, S.137 f.). Gleichzeitig wurde – allerdings unter Bezug auf zwei Items - eine gute Akzeptanz der Lernangebote festgestellt (Euler 2004, S. 120 ff.).

Das „NAT-working SchülerInnenlabor“ am Fachbereich Chemie und Pharmazie der Universität Mainz wird vom Zentrum für Qualitätssicherung und -entwicklung (einer eigenständigen Einrichtung der Universität) evaluiert. Die zentralen Forschungsfragen sind hierbei ebenfalls die Erfassung der Akzeptanz bei Schülern und Lehrern, der Einfluss des Experimentierens im Labor auf das Interesse der SchülerInnen am Schulfach Chemie und eine eventuelle Studienentscheidung für dieses Fach. Angebote, die mit denen des Demonstrationslabors Bio-/Gentechnik der Universität Bayreuth vergleichbar sind, sind die Veranstaltungen aus dem

Bereich Biochemie, die „fast ausschließlich (99 %) OberstufenschülerInnen“ besuchen (Oesterling & Toprak 2002, S. 8). Die veröffentlichten Auswertungen, allerdings wieder nur auf der Ebene einzelner Items, zeigen, eine gute Akzeptanz der Projektstage. Die Schüler „präferieren (...) das „eigenständige Experimentieren“, kritisieren aber die mangelnde organisatorische „Koordination“, die „insbesondere auf die langen Wartezeiten im Labor zurückzuführen“ ist (Oesterling & Toprak 2002, S. 41). Die Befragung findet nur einmalig drei bis vier Wochen nach dem Besuch des Labors statt, Kontrollgruppen werden in die Untersuchung nicht miteinbezogen.

Als letztes sei noch auf die Evaluation des mobilen Schülerlabors „BioTech mobil“ hingewiesen. Schweiger & Brosius (1999, S. 68) stellen als wesentliches Ergebnis ihrer Untersuchungen zur insgesamt positiven Akzeptanz – ebenfalls nur über einzelne Items erfasst - fest, dass die Schüler das „Ausklammern ethischer bzw. moralischer Fragen zur Gentechnik“ bemängeln.

Zusammenfassend lassen sich die bisherigen Evaluationsansätze wie folgt bewerten:

1. Mit Ausnahme der Untersuchung von Engeln (2004) gilt für alle aufgeführten Studien, dass die im Einzelnen durchgeführten Experimente, ihre Stellung im Laborunterricht sowie dessen genauer Ablauf bisher noch nicht veröffentlicht sind. Ein klarer Bezug zum Schulunterricht lässt sich nicht feststellen.
2. Nur zwei der 23 derzeitigen Angebote zur Molekularbiologie werden in einem Evaluationsverfahren untersucht (vgl. Anh. 1).
3. Die Akzeptanz der Lernangebote wird nur auf der Ebene einzelner Items erfasst, eine skalenbezogene Beurteilung existiert nicht.
4. Daneben werden nur Wirkungen im Bereich der Motivation und des Interesses überprüft, die kognitive Ebene des Wissens wird bisher nicht berücksichtigt.

## **2. Ziele der Untersuchung**

Die vorliegende Untersuchung knüpft an das eben festgestellte Forschungsdefizit an und verfolgt Ziele auf zwei Ebenen.

### **2.1 Modulentwicklung**

Für das Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik soll ein exemplarisches Modul entwickelt werden, das durch selbsttätiges Experimentieren die Bearbeitung zentraler Aspekte der Gentechnik und entsprechender molekularbiologischer Techniken ermöglicht und im Rahmen eines Projekttages im Lernort Labor von Schülern direkt durchgeführt werden kann. Inhaltlich sollte sich im Sinne einer „Ethik in den Wissenschaften“ (Dietrich 1998, S. 99), ausgehend vom eigenen experimentellen Handeln, eine Weiterführung zu einer Diskussion über Naturwissenschaften und Ethik anbahnen lassen.

### **2.2 Empirische Untersuchung**

Die Ziele der empirischen Studie zum Experimentalunterricht zu Aspekten der Gentechnik im Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik sind:

1. Welche Akzeptanz erreicht die angebotene Unterrichtsveranstaltung zu gentechnischen Themen bei den Schülern und welche Faktoren spielen dabei eine entscheidende Rolle?
2. Welchen Einfluss besitzt das Experimentieren im Lernort Labor auf den Wissenserwerb der Schüler?
3. Welche Veränderungen im Bereich des Interesses an gentechnischen Fragen werden durch das Experimentieren im Lernort Labor ausgelöst?

In diesem Zusammenhang sollen sowohl der Lernort selbst, als auch das eigenständige Arbeiten als unabhängige Variable überprüft werden.

Die Studie soll dem von Krüger (2003) formulierten biologiedidaktischen „Forschungsrahmen“ für „Entwicklungsorientierte Evaluationsforschung“ genügen: Auf der Basis theoretischer Überlegungen zu den erfassten Konstrukten ist ein Lernangebot zu entwickeln, das in einer hypothesengeleiteten empirischen Untersuchung im Sinne einer summativen Evaluation überprüft wird (Kap. IV bis VI).



## II. Theoretischer Rahmen der Untersuchung

In der „Entwicklungsorientierten Evaluationsforschung“ sind Überlegungen auf zwei unterschiedlichen Ebenen nötig (vgl. Krüger 2003, S. 15 f.):

In einem ersten Schritt müssen die theoretischen Grundlagen für die Entwicklung des Lernangebots geklärt werden: Für die unterrichtliche Konzeption experimenteller, molekularbiologischer Module zur Gentechnik sind alle relevanten Aspekte des Experimentierens im Biologieunterricht zu berücksichtigen. Des Weiteren sind die Besonderheiten der außerschulischen Lernumgebung Lernort Labor mit einzubeziehen.

In einem zweiten Schritt müssen die Forschungsfragen, die an das Lernangebot gestellt werden, begründet werden. Die Untersuchung der Akzeptanz der Module und die Frage nach den Veränderungen, die auf den Ebenen von Wissen und Interesse bewirkt werden, setzen eine Auseinandersetzung mit theoretischen Vorstellungen zu diesen Konstrukten voraus.

Diese Überlegungen sollen im Folgenden dargelegt werden.

### 1. Experimentieren im Biologieunterricht

#### 1.1 Begriffsklärungen

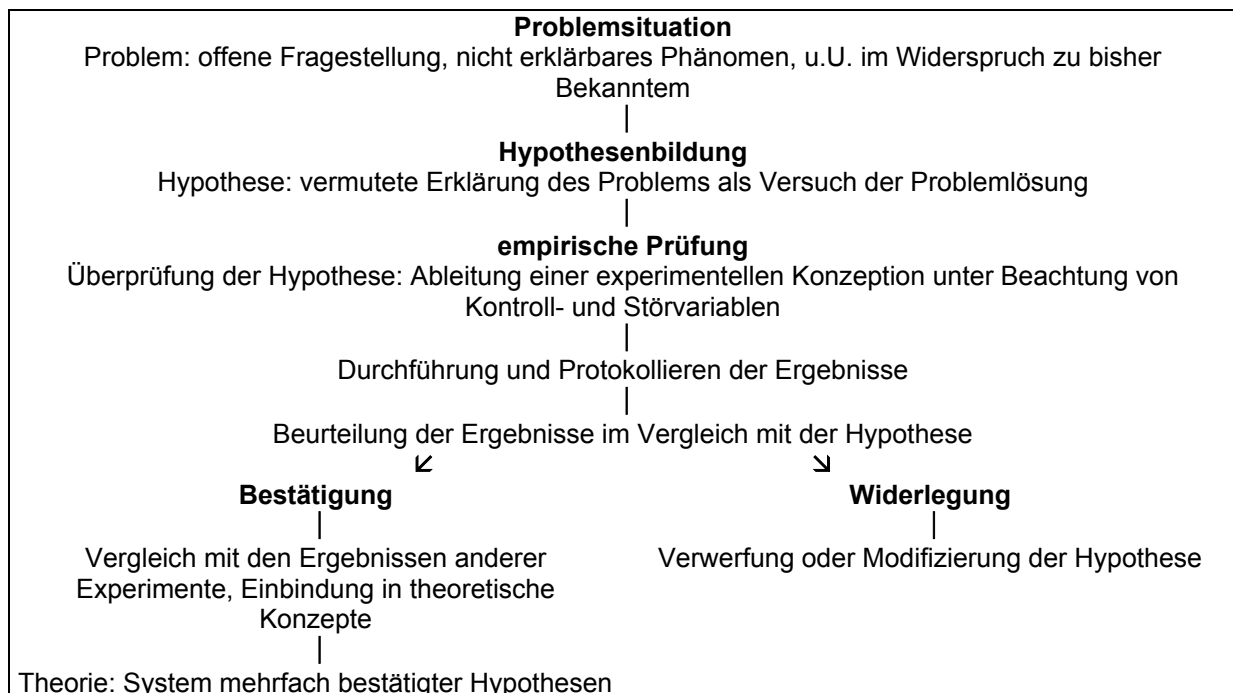
Im allgemeinen Sprachgebrauch wird unter einem Experiment eine „planmäßige, grundsätzlich wiederholbare Beobachtung unter künstlich hergestellten, möglichst veränderbaren Bedingungen“ verstanden (Regenbogen & Meyer 1998, S. 213). Mit einem expliziten Bezug zur Forschung definiert Mittelstraß (1995, S. 621 f.) das Experiment als „planmäßige Herbeiführung von (meist variablen) Umständen zum Zwecke wissenschaftlicher Beobachtung“. Bereits wissenschaftstheoretisch formuliert Runes (1983, S. 118): „any situation which is deliberately set up by an investigator with a view to verifying a theory or hypothesis“. In der Didaktik werden Forschungsexperimente gegenüber Experimenten im Unterricht und freiem Experimentieren im Sinne von „Tüfteln und Erproben“ abgegrenzt (Meyer 1989, S. 313, vgl. Füller 1992, S. 24). Das Unterrichtsexperiment, in der didaktischen Literatur auch als Schulexperiment bezeichnet (vgl. z.B. Bader 1992, S. Eschenhagen et al. 2003, S. 240, Killermann 1995, S. 209) besitzt aus fachdidaktischer Sicht u.a. eine

entscheidende erkenntnistheoretische Bedeutung (vgl. z.B. Wilke 1995, Klautke 1997, S. 323, Eschenhagen et al. 2003, S. 214), die im Rahmen der Wissenschaftspropädeutik in den gültigen Lehrplänen verankert ist (StUKWK 1990, S. 173). Deshalb soll zunächst unter diesem Blickwinkel auf das Forschungsexperiment im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess eingegangen werden. Im Folgenden soll dann aus biologiedidaktischer Perspektive das Unterrichtsexperiment näher differenziert und vom Forschungsexperiment abgegrenzt werden.

### 1.1.1 Forschungsexperimente

Das Forschungsexperiment ist „das wichtigste Hilfsmittel aller Erfahrungswissenschaften, bei denen sich Experimentierbedingungen künstlich herbeiführen bzw. reproduzieren lassen“ (Mittelstraß 1995, S. 622). Es ist die „zentrale Methode in den Naturwissenschaften“ (Scharf 1984, S. 13) und „liegt nur dort vor, wo Erkenntnis erstrebt wird“ (Weizsäcker 1976, S 170).

Die empirische Methode lässt sich idealisiert wie folgt charakterisieren (Abb. 1) (vgl. v. Falkenhausen 1985, S. 100, Moisl 1988, S. 7, Meyer 1989, S. 314 f., Collette & Chiappetta 1984, S. 8, Klautke 1997, S. 324):



**Abb. 1: Allgemeines Ablaufschema eines Forschungsexperiments**

In dieser Abfolge, auch experimentelle Methode genannt (vgl. z.B. Füller 1992, S. 14 f.), kommt dem Experiment eine zentrale Bedeutung zu. Nach Hempel (1977, S. 30) gelangt man nur zu naturwissenschaftlicher Erkenntnis, „indem man (...) Hypothesen als versuchsweise Antworten auf zu untersuchende Probleme erfindet und sie anschließend empirischen Tests unterwirft.“ Ein solcher Test, hat die Aufgabe, „neue Test-Implicationen aus der Hypothese abzuleiten und sie durch entsprechende (...) Experimente zu überprüfen“. Allein das Testergebnis entscheidet über die Bestätigung oder die Widerlegung und damit die Verwerfung der zugrunde liegenden Hypothese.

Mahner und Bunge (2000, S. 74 f.) sehen die experimentelle Methode als Spezialfall der allgemeineren wissenschaftlichen Methode an und charakterisieren diese in entsprechender Weise über zehn kognitive Operationen, weisen aber gleichzeitig „auf den naiven Glauben“ hin, dass „die wissenschaftliche Methode (...) eine Menge einfacher, invarianter und unfehlbarer Rezepte zur Entdeckung unumstößlicher Wahrheiten“ sei: „Selbstverständlich gibt es keine solchen einfachen Regeln“.

Im Folgenden soll nur auf die zwei wissenschaftspropädeutisch entscheidenden Aspekte der erkenntnistheoretischen Betrachtung fokussiert werden, zum einen auf die Frage der Hypothesenfindung, zum anderen auf die Beurteilung des eigentlichen Erkenntnisprozesses.

Hypothesen seien definiert als „überlegte, explizit formulierte und prüfbare Vermutungen“ (Mahner und Bunge 2000, S. 76), die zudem „prinzipiell widerlegbar sind“ (Eschenhagen et al. 2003, S. 57). Sie „stellen allgemeine Aussagen dar“ (v. Falkenhausen 1985, S. 31). Mahner und Bunge (2000, S. 76 f.) nennen vier Möglichkeiten der Hypothesenbildung:

- „Induktion“: Die durch die Datensammlung „gewonnenen Informationen“ werden durch „induktive Verallgemeinerungen“ zusammengefasst.
- „Assoziationen“: Treten zwei Ereignisse häufig gemeinsam oder hintereinander auf, ist das als Korrelation deutbar. Daraus lassen sich qualitative, statistische, probabilistische oder kausale Hypothesen ableiten.
- „Reale oder eingebildete Ähnlichkeiten und Analogien“.
- „Nachdenken über Probleme“: So werden Hypothesen „neu erfunden“.

Auch für v. Falkenhausen (1985, S. 31 f.) ist ein „spekulatives Moment (...) charakteristisch“, das sich nicht unmittelbar aus den ebenfalls mit eingehenden „Beobachtungen und Vorerfahrungen ergibt“ (vgl. auch Weniger 1971, S. 83). „It is creativity, imagination, innovation, that is most important in the introduction of hypothesis“ (Shapere 1995, S. 15). Diese Sichtweise muss in den Unterricht transferiert werden.

Der Erkenntnisprozess selbst ist iterativ, indem man „sich dem wahren Sachverhalt durch immer besser angepasste Hypothesen bis zur größtmöglichen Wahrscheinlichkeit“ annähert (Klautke 1997, S. 324). Dabei sind Induktion und Deduktion „eng miteinander verknüpft und lösen sich im Erkenntnisprozeß mehrfach ab“ (Eschenhagen et al. 2003, S. 55). Induktive Schlüsse „von Einzelaussagen auf allgemeinere Aussagen sind gehaltserweiternd“, aber „dadurch nicht wahrheitsbewahrend“ (v. Falkenhausen 1985, S. 29). Sie führen nur zu Schlussfolgerungen „mit mehr oder weniger großer Wahrscheinlichkeit (Hempel 1977, S. 21). Im Gegensatz dazu sind deduktive Schlüsse „von bestimmten Voraussetzungen zu einer Folgerung (...) wahrheitsbewahrend, (...) erweitern aber unser Wissen nicht“ (v. Falkenhausen 1985, S. 29). Die Beurteilung induktiver Schlüsse für die biologische Erkenntnisgewinnung hat sich in den letzten Jahrzehnten geändert. So wird die „reine oder generalisierende Induktion“ (Hartmann 1948, S. 133 ff.) zur Überprüfung von Hypothesen (Killermann 1995, S. 19; vgl. auch Grupe 1973, S. 230) heute als „gescheitert“ (v. Falkenhausen 1985, S. 30), „metaphysisch“ (Eschenhagen et al. 2003, S. 56) oder „irrelevant for the present discussion“ (Shapere 1995, S. 13) abgelehnt. Naturwissenschaftliche Erkenntnis im Sinne einer kausalen Analyse kann nur durch das hypothetisch-deduktive Verfahren der wiederholten Hypothesenprüfung als „einzige Methode“ erreicht werden (Klautke 1997, S. 324). Dieses wird teilweise auch als exakte Induktion bezeichnet (z.B. Killermann 1995, S. 20, Klautke 1997, S. 324). Prinzipiell kann jede Hypothese widerlegt und damit vorläufig falsifiziert werden. Eine endgültige Verifizierung im Sinne eines Beweises ist nie möglich, allenfalls vorläufige Bestätigungen, entsprechend auch keine dauerhafte Falsifizierung (vgl. Popper 1984, S. 8 u. S. 426). Somit hat das gewonnene Wissen - „als Resultat des Erkennens“ (Mahner & Bunge 2000, S. 61) - immer als vorläufig zu gelten (v. Falkenhausen 1985, S. 32), gerade im Hinblick auf die Wissenschaftspropädeutik im Unterricht.

### 1.1.2 Unterrichtsexperimente

Das Experiment im Biologieunterricht „stellt einen planmäßig ausgelösten Vorgang dar, bei dem alle beteiligten Faktoren, die diesen Vorgang beeinflussen, kontrolliert sein müssen. Im Regelfall wird einer der zu untersuchenden Faktoren variiert und die anderen beteiligten Faktoren optimal konstant gehalten“ (Klautke 1997, S. 323). Die erzielten Ergebnisse müssen reproduzierbar und gemeinsam mit den experimentellen Bedingungen intersubjektiv überprüfbar sein (Graf 2004, S. 128).

Experimentieren ist eine der zentralen fachgemäßen Arbeitsweisen des Biologieunterrichts. Arbeitsweisen selbst sind als methodische Handlungsmuster (Meyer 1989, S. 115) definiert, die dann fachgemäß „auf die besonderen Anforderungen“ eines einzelnen Unterrichtsfaches zugeschnitten sind (Eschenhagen et al. 2003, S. 212). In Anbetracht der unterschiedlichen Nutzung des Begriffs innerhalb der Biologiedidaktik schlagen Berck und Graf vor (2003, S.4), darunter „zusammenfassend alle Denk- und Arbeitsmethoden“ zu subsumieren, „mit denen Erkenntnisse gewonnen werden“ (vgl. Killermann 1995, S. 196). Abweichend davon sprechen Eschenhagen et al. (2003, S. 212) nur von „Erkenntnismethoden“, denen „Darstellungsweisen“, wie z.B. „Verwenden von Sprache“ oder „Protokollieren“ gegenüber gestellt werden (vgl. auch Berck & Graf 2003, S. 23) und greifen dabei die Unterscheidung der „Lernakte“ in „Erkundungsformen“ (Abb. 2) und „Darstellungsformen“ von Grönke & Windelband (1962, S. 36) wieder auf.

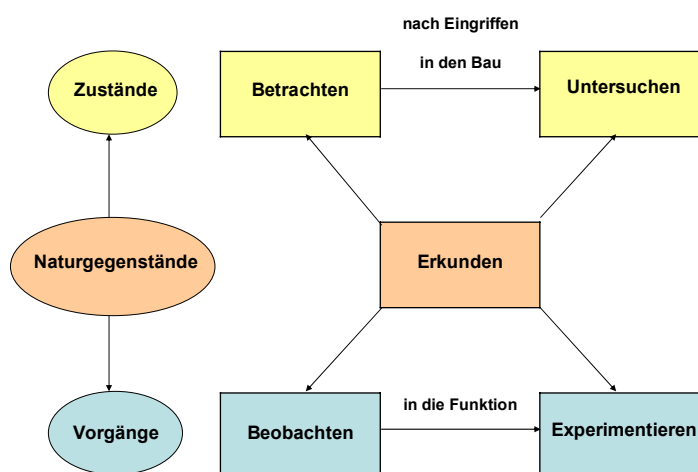


Abb. 2: Erkundungsformen im Biologieunterricht (veränd. nach Grönke & Windelband 1962 S. 175)

Experimentieren ist eine komplexe Arbeitsweise, die die anderen Erkundungsformen der realen Objekte in der Natur, das statische Betrachten und Untersuchen und das dynamische Beobachten mit einschließt (Klautke 1997, S. 323, vgl. auch Grupe 1973, S. 221 und Graf 2004, S. 121). Eschenhagen et al. (2003, S. 214 f.) kritisieren diese Einteilung als „induktivistisch“, da sie die „Vorstellung“ vermittele, der „Weg der Erkenntnis verlaufe vom Erkunden zum Erkennen“, also vom Objekt zum Subjekt der Erkenntnis. Dies widerspreche der Tatsache, dass jede Erkundung bereits subjektgebunden hypothesen- und/oder theoriegeleitet sei. Unter dem Bezug auf den Konstruktivismus (vgl. Kap. II 3.2.1) unterscheiden sie nur noch Beobachten (Betrachten, Beobachten und Untersuchen als Beobachten mit Hilfsmitteln) und Experimentieren (vgl. auch Berck & Graf 2003, S. 23). Demgegenüber fasst Pietsch (1954, S. 197) unter der „experimentellen Lehrform“ neben den Experimenten auch Beobachtungen unter künstlichen Bedingungen und Untersuchungen mit speziellen Hilfsmitteln zusammen.

Einzugehen ist in diesem Zusammenhang auch auf den Begriff Versuch. Während die Begriffe Versuch und Experiment überwiegend synonym gebraucht werden, wie Berck (2001, S. 117) meint, „zu recht“, gibt es einzelne Ansätze zur Differenzierung: Füller (1992, S. 22) grenzt den Versuch als Beobachtung von Veränderungen ohne Kontrolle der nicht variierten Faktoren vom Experiment ab, Löwe (1992, S. 44) sieht im Versuch eine „Untersuchung mit chemisch-physikalischen Hilfsmitteln“ im Gegensatz zum hypothesengeleiteten Experiment (vgl. auch Graf 2004, S. 128), Tutschek (2000, S. 52) sieht in einer zugrunde liegenden Fragestellung den Unterschied zwischen Versuch und Experiment und Hedewig (1990, S. 82) fasst unter Versuchen im weiteren Sinne Experimente und Untersuchungen, die Experimenten ähnlich sind, zusammen.

Auch im angelsächsischen Sprachraum gilt, „that the term ‘science laboratory work’ is too loosely defined“ (Hegarty-Hazel 1990, S. 4). Beispielhaft seien angeführt: Millar et al. (1999, S. 36) definieren „practical work“ im Sinne von Erkunden als Unterrichtsaktivitäten, „which involve students at some point in handling or observing the objects or materials they are studying“. Berry et al. (2001, S. 313) verwenden „laboratory work“ im Sinne von hypothesengeleitetem Experimentieren. Lunetta & Hofstein (2004, S. 31) verbinden mit dem Begriff bereits eine Zielvorstellung, wenn

sie „laboratory activities“ als Lernerfahrungen festlegen, „in which students interact with materials and/or models to observe and understand the natural world“.

Im Hinblick auf einen Lernort Labor ist es nun wichtig, Unterrichtsexperimente von Experimenten in der Wissenschaft abzugrenzen.

Experimente in der Schule unterscheiden sich in mehrfacher Hinsicht von Experimenten in der biologischen Forschung (vgl. z.B. Grupe 1973, S. 230, Grönke & Windelband 1962, S. 167, Füller 1992, S. 27, Eschenhagen et al. 2003, S. 240, Berck 2001, S. 117, Graf 2004, S. 126). Sowohl die Materialien als auch die Methoden zur Durchführung können in den Schulen aus Kostengründen, aus rechtlichen Gründen (Sicherheitsvorschriften) oder aufgrund der Experimentierfähigkeit der Schüler, evtl. auch der Lehrer, ein begrenzender Faktor sein. Dem Forschungsprozess ähnliche, iterative Wiederholungen sind, insbesondere aus Zeitgründen, oft nicht möglich. Die Variabilität im Hinblick auf zu untersuchende Faktoren ist i.d.R. eingeschränkt. Experimente sollen letztendlich zu den vom Lehrer erwarteten Ergebnissen führen. Sie vollziehen somit bereits Bekanntes nach und bringen für den Lehrer keine neuen Erkenntnisse. Der Schüler kann u.U. subjektiv die Rolle des Forschers einnehmen. Innerhalb des Unterrichts läuft nicht jedes Mal beim Experimentieren der gesamte, oben zusammengefasste Erkenntnisprozess ab. Oft dienen Experimente nur zur Veranschaulichung und sind für die Schülerschaft nur aus methodischer Perspektive neu. Anders als Forschungsexperimente sollen Unterrichtsexperimente, wenn möglich, an lebensweltliche Erfahrungen der Schüler anknüpfen und deren Alltagsvorstellungen mit aufgreifen. Außerdem sollen im Gegensatz zum Experiment in der Wissenschaft mit dem Experimentieren im Unterricht neben dem Erkenntnisgewinn weitere Ziele erreicht werden (vgl. Kap. II 1.3).

Ein Lernort Labor sollte daher die Möglichkeit bieten, die oben genannten Defizite abzubauen, und die Grenze zwischen Forschung und Unterricht in Richtung Wissenschaft zu verschieben, ohne dabei die Schüler als Adressaten des Unterrichts und deren intendierte Lernprozesse aus dem Blick zu verlieren. Damit ergibt sich die Frage nach der Art des hierfür sinnvollen Experimentierens. Im Folgenden soll daher aus deren Vielfalt eine geeignete Variante für die zu planenden experimentellen Module ausgewählt werden.

## 1.2 Typologie der Unterrichtsexperimente

Aufbauend auf Füller (1992, S. 60 ff.), Engeln (2004, S. 35 ff.) und Eschenhagen et al. (2003, S. 240 ff.) lassen sich die in der deutschsprachigen Didaktik üblichen Einteilungen der Unterrichtsexperimente wie folgt zusammenfassen (Tab. 1).

**Tab. 1: Einteilung der Unterrichtsexperimente im deutschen Sprachraum**

Kriterium	Klassifikation	Kurze Erläuterungen
Didaktischer Ort	<ul style="list-style-type: none"> <li>• einführendes E.</li> <li>• entdeckendes E.</li> <li>• bestätigendes E.</li> </ul>	Haupttypen, einführendes und bestätigendes E. können auch Bestandteile eines umfassenden entdeckenden E. sein. Die Begriffe forschendes E. bzw. Forschungsversuch (z.B. Urschler 1970, S. 81, Siedentop 1972, S. 100) für das entdeckende E. werden von Eschenhagen et al. (2003, S. 240) und Killermann (1995, S. 212) abgelehnt, da in der Schule keine echte Erkenntnisgewinnung vorliege, sondern nur ein Nachvollziehen des Erkenntnisprozesses.
Realitätsbezug	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E. am originalen Objekt</li> <li>• E. am analogen Objekt</li> <li>• E. am Modell</li> <li>• Gedankenexperiment</li> </ul>	Originale Objekte können dabei im Freiland oder im Unterrichtsraum benutzt werden. Analoge Objekte veranschaulichen i.d.R. nur Teilaspekte des originalen Objekts (Füller 1992, S. 62).
Datenerfassung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• qualitative E.</li> <li>• quantitative E.</li> </ul>	
Zeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurzzeit-E.</li> <li>• Langzeit-E.</li> </ul>	
Geräteaufwand	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klein-E.</li> <li>• Groß-E.</li> </ul>	Klein-E. können als Freihand- oder Projektions-E. durchgeführt werden. Computerunterstützung ist grundsätzlich möglich.
Experimentator	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lehrer-E.</li> <li>• Schüler-E.</li> </ul>	Während Lehrer-E. per se Demonstrations-E. sind, können Schüler-E. als Demonstrations-, Einzel- oder Gruppen-E. mit arbeitsgleichen oder –teiligen E. geplant werden. Die Betreuung kann variieren: ohne (z.B. E. als Hausaufgaben) oder mit unterschiedlich führender Betreuung. Außerdem kann die Art der schriftlichen Ergebnissicherung unterschiedlich sein: Notizen, Arbeitsblatt, Protokoll.

Außerhalb Deutschlands, speziell im englischen Sprachraum, werden Experimente häufig in einer „practical class“ (Woolnough & Allsop 1985, S.2) oder als „laboratory session“ durchgeführt, auch als „standard labwork“ bezeichnet (Beney & Séré 2002, S. 65). Da Experimente in einem Lernort Labor nicht einem normalen Unterricht entsprechen, erscheint es sinnvoll, die hierzu üblichen Kategorien zur Einteilung zu überprüfen. Domin (1999, S. 324) unterscheidet nach den Instruktionsstilen vier Typen von Laborkursen. Dabei unterscheiden sich die einzelnen Arten im Hinblick auf unbekannte oder vorgegebene Ergebnisse, deduktiven oder induktiven Ansatz und vorgegebene oder offene experimentelle Wege. Millar et al. (1999, S. 39 ff.)



dokumentieren in ihrer Übersicht neben der üblichen Unterscheidung in Lehrer- und Schülerexperimente nur wenige weitere Ansätze zu einer Klassifikation. Beispielhaft seien genannt: Forschungsnähe (eingeteilt nach der Vorgabe oder Offenheit von gestelltem Problem, experimentellem Vorgehen und dem erwarteten Ergebnis, vgl. auch Ntombela 1999, S. 121) oder die zugrunde liegenden Ziele (Entwicklung praktischer Fähigkeiten, Förderung problemlösenden, wissenschaftlichen Arbeitens oder Veranschaulichung von Phänomenen, vgl. Woolnough & Allsop 1985, S. 47 ff. oder Gott & Duggan 1996, S. 801). Millar et al. (1999, S. 39 ff.) kritisieren, dass die aufgeführten Ordnungssysteme jeweils für einen besonderen Zweck entwickelt worden seien und daher zu sehr von den damit verbundenen Zielen der jeweiligen Entwickler beeinflusst seien. Sie schlagen daher vor, eine experimentelle Unterrichtssequenz sowohl im Hinblick auf die intendierten mentalen Vorgänge als auch auf die praktischen Tätigkeiten der Schüler zu beschreiben; dem soll im Rahmen der unterrichtlichen Umsetzung entsprochen werden (vgl. Kap. III 2.).

Zusammenfassend lässt sich feststellen: Experimente im Lernort Labor sollten wissenschaftspropädeutisch entdeckende Schülerexperimente sein, die im Hinblick auf die eingesetzten originalen Objekte (Materialien und Methoden) möglichst forschungsnah sind. Sie müssen gleichzeitig adressatengerecht sein und die mit dem Experimentieren im Unterrichtsbezug verbundenen Zielvorstellungen beachten. Diese sollen im Folgenden näher erläutert werden.

### **1.3 Zielvorstellungen zum unterrichtlichen Experimentieren**

Dem Experimentieren wird „seit alters von Biologiedidaktikern“ eine „hohe Wertschätzung (...) entgegengebracht“ (Eschenhagen et al. 2003, S. 244), dabei sollte „dem Schülerexperiment, wenn immer möglich, der Vorzug gegeben werden“ (Graf 2004, S. 127). Die didaktischen Funktionen, die mit dem Experimentieren in der Literatur verbunden werden, sind zahlreich und werden nach unterschiedlichen Kriterien zusammengefasst. So ordnen Eschenhagen et al. (2003, S. 244 f.) diese nach der Bedeutung für die kognitive, die affektiv-emotionale und die psychomotorische Dimension der damit verknüpften Lernziele. Jeweils ein Beispiel sei genannt: planmäßiges Reflektieren, intensive Zusammenarbeit in Gruppen und Handhabung von Geräten. Euler (2001, S. 28 f.) dagegen subsumiert unter dem Aspekt Erkenntnisprozesse fachimmanente Funktionen wie die Vermittlung primärer Erfahrungen, unter dem Teilbereich Lehr-Lernprozesse psychologische Funktionen,

z.B. Experimente als Erinnerungshilfen und unter der Kategorie Persönlichkeitsentwicklung pädagogische Funktionen, bspw. Förderung von Selbstvertrauen. Er weist darauf hin, dass eine Reihe komplexer Funktionen von Experimenten durchaus eine fachliche und eine psychologisch-kognitive Komponente haben können.

Ausgehend von dieser zentralen Rolle der Experimente (Lunetta 1998, S. 250) formulieren Hofstein & Lunetta (2004, S. 38) die folgenden, häufig genannten Ziele, die mit experimentellem Arbeiten erreichbar sein sollen:

- Entwicklung eines Verständnisses für naturwissenschaftliche Konzepte,
- Einsicht in die Eigenart naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens,
- Entwicklung praktischer Fertigkeiten und der Fähigkeit, naturwissenschaftliche Probleme zu lösen,
- Förderung von naturwissenschaftlich geprägten Denkweisen,
- Förderung von Interesse und Motivation (vgl. z.B. auch Leach 2002, S. 41).

Berck (2001, S. 117) ergänzt noch das Ziel, eine positive Einstellung zu den Naturwissenschaften zu entwickeln, während Füller (1992, S. 28 f.) zum einen auf die „Förderung der Sozialkontakte“ und zum anderen auf die „formalen Bildungsziele“ hinweist, die dem Experimentieren zugewiesen werden. Experimente leisten „einen Beitrag zur Entwicklung und Schulung allgemeiner Fähigkeiten“. Beispielhaft seien angeführt: „klares Beschreiben“ und „zeichnerisches Darstellen“ (StUKWK, 1990, S. 172).

Die ersten drei der oben genannten Ziele greifen allgemeinere Zielvorstellungen des Unterrichts in den Naturwissenschaften auf, die Hodson (1992, S. 65 ff.) als „Learning science“, „Learning about science“ und „Doing science“ formuliert. Dabei umfasst „Lernen“ den Erwerb theoretischen Wissens, speziell auch der zugrunde liegenden Konzepte, und „Lernen über“ die Entwicklung eines Verständnisses für Denk- und Arbeitsmethoden, aber auch für die komplexen Zusammenhänge zwischen Gesellschaft, Technik und Wissenschaft. Das dritte Ziel „Handeln“ bezieht Hodson nicht nur auf die psychomotorische Ebene der praktischen Fertigkeiten, sondern auch auf die kognitive Ebene der Anwendung zum Lösen von Problemen und die affektive Ebene im Bereich von vorhandenen Interessen an Wissenschaft.

Der Ebene der biologiedidaktischen Forschung stehen die Lehrkräfte gegenüber, die deren Vorgaben praktisch im Unterricht umsetzen sollen. Die Zielvorstellungen europäischer Lehrer und deren Verwirklichung durch verschiedene Arten von experimentellem Arbeiten sind von Welzel et al. empirisch überprüft worden (1998, S. 33 ff.): An oberster Stelle der Zielkategorien stehen die Verknüpfung von Theorie und Praxis, das Kennenlernen von Methoden des naturwissenschaftlichen Denkens, insbesondere bei Biologielehrern, und der Erwerb experimenteller Fähigkeiten. Nicht ganz so bedeutend werden die Steigerung der Motivation, die Förderung der persönlichen Entwicklung und der sozialen Kompetenz eingeschätzt. Am wenigsten wichtig wird das Ziel beurteilt, Wissen durch experimentelles Arbeiten zu überprüfen. Alle Ziele werden nach der Meinung der befragten Lehrer durch selbständiges Experimentieren der Schüler besonders gefördert. Für nützlich werden auch Experimente mit offenem Ausgang gehalten, insbesondere im Hinblick auf die soziale Kompetenz, allerdings weniger für die Ziele Verknüpfung von Theorie und Praxis und Lernen experimenteller Fähigkeiten. Experimente unter Nutzung moderner Technologien und klar angeleitetes Experimentieren sollen alle Zielvorstellungen fördern, erstere jedoch stärker die Motivationssteigerung, letztere die experimentellen Fähigkeiten. Nur Demonstrationsexperimente werden teilweise als weniger geeignet eingeschätzt. Positive Beurteilungen erhält diese Organisationsform nur für den Bereich Verknüpfung von Theorie und Praxis, abgeschwächt auch für die Aspekte des wissenschaftlichen Denkens und der Motivation.

Damit ergibt sich die Frage, inwieweit diese Ziele real erreicht werden. Dies soll im Folgenden unter Bezug auf empirische Ergebnisse näher untersucht werden, um daraus Anforderungen an ein möglichst erfolgreiches Arbeiten in einem Lernort Labor abzuleiten.

## **1.4 Kritische Würdigung ausgewählter empirischer Studien**

Für die Beantwortung der oben genannten Frage müssen zwei Ebenen unterschieden werden, zum einen die Ebene der realen Schulwirklichkeit in Bezug auf das Experimentieren im Fach Biologie, zum anderen die Ebene der empirisch nachweisbaren Wirkungen von Experimenten bei den Lernern selbst.

### **1.4.1 Häufigkeit des Experimentierens in der Schule**

„Von Anfang an üben sich die Schüler im Analysieren und Lösen fachspezifischer Fragestellungen und Probleme.“ Biologische Phänomene werden dabei „anhand selbständig durchgeführter Untersuchungen und Experimente“ erforscht (StUKWK, 1990, S. 172). Diesem Anspruch seitens des Lehrplans steht eine eher ernüchternde Realität gegenüber. Lind et al. (1998, S. 8) sehen einen „Konsens“ darüber, „daß naturwissenschaftliches Arbeiten im Biologieunterricht (...) zu wenig alltägliche Unterrichtspraxis ist“, und vermuten hierin einen der Gründe, dass es nur relativ wenige Studien über die Häufigkeit des Experimentierens im Fach Biologie gibt. Eine Befragung von Gymnasiallehrern durch Meyer (1987, S. 9) zeigte einen Zeitanteil von durchschnittlich 13 % für den Experimentalunterricht an. Dabei sind Lehrer, die überwiegend Schülerexperimente, überwiegend Demonstrationsexperimente oder beide Varianten etwa im Verhältnis 1:1 durchführen, annähernd gleich vertreten. Qualitative Experimente dominieren, wenn auch der Anteil quantitativer Experimente in der Sekundarstufe II ansteigt (Meyer 1987, S. 20 f.). Dem entspricht in etwa der Befund von Weigelt & Grabinski, dass die Zeit für Schülerexperimente von über der Hälfte der Lehrer auf unter 10 % der jährlichen Unterrichtszeit geschätzt wird (1997, zitiert nach Lind et al. 1998, S. 8, und Berck 2001, S. 117). Eine andere Möglichkeit zur Gewinnung von Daten in diesem Bereich ist die Befragung von Schülern. Korneck & Heibel (2002, S. 7) geben als Ergebnis ihrer Studie an, dass Schüler nur wenige Lehrer- und Schülerexperimente im Biologieunterricht erleben. Sie bewerten rückblickend deren Häufigkeit auf einer Ratingskala von nie (=1) bis sehr häufig (=5) im Durchschnitt nur mit dem Wert 2 im Vergleich zu den Wertungen von über 3 für die Fächer Chemie und Physik (vgl. auch Korneck & Heibel 2003, S. 316). Eine frühere, ebenfalls retrospektive Untersuchung von Beisenherz (1980, S. 218) im Hinblick auf Experimente in der Oberstufe führt im Bereich Genetik 18 % Demonstrations- und 16 % wenige und 9 % regelmäßige Schülerexperimente an. Als Gründe für den relativ niedrigen Anteil an experimentellem Unterricht werden von

Gymnasiallehrern primär zu große Klassen, zu hoher Zeitaufwand, zu wenig Materialien und zu anspruchsvolle experimentelle Erarbeitung angegeben (Meyer 1987, S. 25).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das im Biologieunterricht mögliche Potential an experimentellem Arbeiten speziell in Deutschland vom Lehrer als dem dafür zuständigen Entscheidungsträger nicht umgesetzt wird (Tiberghien 1998, S. 5). Damit ist ein Bedarf an zusätzlichen Angeboten für Schüler erkennbar, der durch außerschulische Lernorte mit Laborcharakter abgedeckt werden könnte, um die genannten Zielvorstellungen besser erreichen zu können.

#### **1.4.2 Wirksame Effekte von Experimenten auf Schüler**

Die zweite Ebene, auf der das Erreichen der Zielvorstellungen überprüft werden kann, sind die Adressaten selbst, die Schüler. Es existieren zahlreiche Studien zur Effektivität des Experimentierens im naturwissenschaftlichen Unterricht (Jenkins 1999, S. 21). Im Hinblick auf die oben genannten Ziele der Arbeit (vgl. Kap. I 2.) sollen die Befunde zu den Wirkungen in der kognitiven und der affektiven Dimension zusammengefasst werden. Ergebnis dieser Analyse muss es sein, geeignete Anforderungen und Ansprüche sowohl an die geplanten Experimente, als auch an die empirische Überprüfung im Rahmen der Evaluation abzuleiten.

Bezogen auf die kognitive Ebene stellt Euler (2001, S. 27) die nach wie vor offene Frage, „unter welchen Bedingungen kann man erwarten, dass bei praktischer (Labor-) Aktivität auch wirklich etwas gelernt wird“. Die Ergebnisse der Studien zum Lernerfolg bei experimentellem im Vergleich zu Formen nicht experimentellen Unterrichts zeigen kein eindeutiges Bild. „Some studies have favoured Method A (laboratory), others Method B (whatever method it was), whilst many others have resulted in the dreaded ‚NSD‘ (no significant difference)“ (Hegarty-Hazel 1986, S. 130). Begründet wird dieses Ergebnis primär mit methodischen Mängeln in der didaktischen Forschung, bspw. unzureichende Stichprobengrößen, Mängel in der Klarheit über die verwendeten Instruktionsformen und empirischen Messinstrumente oder keine Übereinstimmung zwischen den erfassten Variablen und den intendierten Lern- und Forschungszielen (Hofstein & Lunetta 1982, S. 212, Garrett & Roberts 1982, S. 114). Unabhängig davon sieht Lunetta (1998, S. 250) Probleme für den Lernerfolg beim Experimentieren in folgenden Aspekten: Schüler erkennen in der

Regel einen anderen Zweck für ein Experiment als den vom Lehrer beabsichtigten. Sie sehen als dessen prinzipielles Ziel an, den Versuchsanleitungen genau zu folgen bzw. die richtige Antwort herauszufinden. Das praktische Arbeiten wird von den zugrunde liegenden Konzepten oder prozessualen Zielen losgelöst und nicht damit verknüpft. Es fehlt ein Verständnis für den Zusammenhang zwischen Versuchsdesign und den zu überprüfenden Hypothesen sowie dem vorhandenen Vorwissen. Die Schüler nehmen nur selten die Differenzen zwischen ihren lebensweltlichen und den durch die Experimente vermittelten wissenschaftlichen Konzepten wahr. Nach Hodson (2001, zitiert in Hofstein & Lunetta 2004, S. 39) existiert oft ein Missverhältnis zwischen dem, was Lehrer in Bezug auf Experimente sprachlich ankündigen, und ihrem tatsächlichem Verhalten im Labor. Dies irritiert die Schüler. Speziell für Schülerexperimente im Biologieunterricht gibt Füller (1992, S. 191) folgende Nachteile an: Es fehlen die unmittelbaren „Lehrererklärungen“ und das „Lehrervorbild“ zum „Beobachtungslernen“. Außerdem können sich die Schüler nicht „uneingeschränkt ihrer Beobachtungstätigkeit widmen“, da sie „gleichzeitig andere Arbeiten verrichten“ und auf ihre Äußerungen kann der Lehrer nicht „spontan“ reagieren. Für eine weitergehende Analyse der Effektivität in der kognitiven Dimension unter lernpsychologischen Aspekten wird auf Kap. II 3.2.1 verwiesen.

„Was Schülerinnen und Schüler über die Funktionen von Experimenten im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess lernen“, ist nach Euler (2001, S. 31). ebenfalls nicht eindeutig geklärt. Einige Studien lassen vermuten, dass bei manchen Schülern durch das Experimentieren ein verzerrtes Bild naturwissenschaftlicher Erkenntnis entsteht (Hodson 1993, S. 95). Sie sehen die Entstehung von Wissen als einen unproblematischen, zielgerichteten Ablauf von den beobachtbaren Phänomenen bis hin zu praktischen Anwendungen, eine „illusion of certainty“ entsteht (Hodson & Bencze 1998, S. 685). Gründe hierfür sind nach Euler (2001, S. 31): „In den ‚typischen‘ Laborsituationen folgen Schülerinnen und Schüler nur Anleitungen. Es findet kaum eine Planung und eine Reflexion der Aktivitäten statt. Es gibt eine große Diskrepanz zwischen den allgemeinen, übergeordneten Zielen des Experimentierens und der konkreten Arbeit. Beim Experimentieren ist die Arbeit am eigentlichen Problem (...) gering“.

Vergleichbar uneinheitliche Ergebnisse liefert die Analyse der Literatur im Hinblick auf die affektive Ebene. So geben Harlen (1999, S. 7) und White (1996, S. 768) in

ihren Übersichten an, es gäbe keine Belege dafür, dass ein Mehr an praktischem Arbeiten sich auch in einem gesteigerten Interesse an bzw. größerer Motivation für die Naturwissenschaften äußert, während Hofstein & Lunetta (2004, S. 34) empirische Untersuchungen für eine generell positive Veränderung des Interesses und der Einstellung anführen. Sie sehen zurzeit allerdings ein Forschungsdefizit in der affektiven Domäne zugunsten des kognitiven Bereiches. Hodson (1990, S. 34) schließt aus eigenen Untersuchungen, dass Schüler praktisches Arbeiten dann hoch einschätzen, wenn sie dabei kognitiv herausgefordert sind, die Experimente einem klaren Zweck dienen und „funktionieren“, also erfolgreich sind, ihnen dabei aber auch noch ein genügendes Maß an Kontrolle und Unabhängigkeit vermitteln. Auch ausreichend Zeit, ein mittleres Maß an Ergebnisoffenheit sowie die andere Art des Lehrerverhaltens im Vergleich zum üblichen Unterricht wirken sich für Interesse und Motivation positiv aus (Gardner & Gauld 1990, S. 140 u. 151).

Zusammenfassend lassen sich damit unter Bezug auf Harlen (1999, S. 82 f.) und Euler (2001, S. 32) folgende Forderungen an Schülerexperimente in einem Lernort Labor stellen:

- Experimente sollten nicht um ihrer selbst durchgeführt werden, sie müssen in einem unterrichtlichen Kontext stehen und theoriebasiert sein.
- Ihr Ziel und Zweck müssen den Schülern einsichtig sein, d.h. es sollten klar formulierte Hypothesen aufgestellt sein, die über das Experimentieren bestätigt oder widerlegt werden können.
- Experimente sollten eine Herausforderung darstellen. Es sollten keine kochbuchartigen Rezepte umgesetzt werden, aber trotzdem positive Ergebnisse erreichbar sein
- Es muss einerseits eine hinreichende Kontrolle über die Planung der Arbeit, andererseits ein gewisses Maß an Offenheit gegeben sein.
- Die Experimente sollten die Selbständigkeit fördern und Kompetenzerlebnisse vermitteln.

Für die empirische Untersuchung experimentellen Unterrichts in einem Lernort Labor sind die grundsätzlichen Vorgaben an die didaktische Forschung zu beachten, die Hofstein & Lunetta (1982, S. 204 ff., 2004, S. 48) als Folge ihrer Metaanalysen zum Lernen durch Experimentieren fordern:

- Erfassung der vorherigen Experimentiererfahrung und des bisherigen Leistungsstandes bei den Schülern,
- Kontrolle äußerer Faktoren während des Verlaufs der Studie,
- Erarbeitung eines eigenen Messinstrumentariums, bezogen auf die angestrebten Lernziele, das auch Aufgaben mit höherem Anspruchsniveau und praktische Aufgaben enthält, und Verzicht auf standardisierte Wissenstests ohne Unterrichtsbezug,
- Beachtung unterschiedlichen Lehrerverhaltens in verschiedenen Gruppen,
- Einbezug der verwendeten Versuchsanleitungen,
- klare Darstellung der Beziehung zwischen der instruktionalen Unterrichtssituation und den Experimenten,
- Überprüfung des Einflusses auf affektive und soziale Variablen, letztere im Hinblick auf das Labor als Lernumgebung.

Damit ist die Frage aufgeworfen, welche spezifischen Chancen ein Lernort Labor bieten kann, um Lernerfahrungen zu ermöglichen, die über die schulisch erreichbaren hinausgehen. Die folgenden Überlegungen auf der Ebene des Lernorts sollen dies beantworten.



## 2. Der außerschulische Lernort Labor

Seit Mitte der 90er Jahre entstanden zunehmend mehr Initiativen für einen außerschulischen Lernort Labor (vgl. Engeln 2001, S. 43 ff.). Euler (2001, S. 8 f.) sieht hierfür vor allem drei grundlegende Motive: mehr Schüler für naturwissenschaftliche Ausbildungen in der Schule, im Studium und in der beruflichen Bildung zu gewinnen (vgl. auch Ley 2002), den Dialog der Naturwissenschaften mit der Jugend zu fördern und die naturwissenschaftliche Grundbildung der Schüler zu verbessern. Damit sind eine wissenschaftsbezogene, eine gesellschaftliche und eine bildungstheoretische Ebene angesprochen. Letztere bedingt erneut die Frage nach den spezifischen Förderungsmöglichkeiten eines solchen Lernorts. Im Folgenden soll daher zunächst der Begriff Lernort Labor geklärt werden, um dann das außerschulische vom schulischen Experimentieren zu differenzieren.

### 2.1 Begriffsklärung

Ein Lernort Labor stellt didaktisch eine Lernumgebung dar, in der außerschulischer Unterricht stattfindet. Dabei verdeutlicht der Begriff, dass es sich um ein planvoll gestaltetes „Arrangement von Unterrichtsmethoden, Unterrichtstechniken, Lernmaterialien [und] Medien“ handelt (Reinmann-Rothmeier & Mandl, 2001, S. 603 f.), also um organisierte Lernsituationen außerhalb des Schulgebäudes. Eine allgemein anerkannte Terminologie im Bereich solchen Unterrichts existiert bisher nicht (Eschenhagen et al. 2003, S. 201). Die existierenden außerschulischen Experimentierangebote lassen sich drei großen Gruppen zuordnen (vgl. auch Engeln 2004, S. 12 und Prenzel & Ringelband 2001, S. 12):

- Netzwerke zwischen Wissenschaftlern und Schulen mit festgelegten Kooperationsvereinbarungen, z.B. das Netzwerk NaT-Working Molekularbiologie der Universität und des Oberschulamtes Freiburg (Brix 2003),
- mobile Laboratorien, bspw. das BioLab Baden-Württemberg on Tour (Flad & Flad 2004) und
- speziell für Schüler eingerichtete Experimentallabore wie die Schülerlabore der Helmholtz-Gemeinschaft (Tegen 2004).

Die Schülerlabore aus dem Bereich der Molekularbiologie lassen sich nach verschiedenen Kriterien unterscheiden (vgl. Anh. 1):

- Träger: Universitäten, Forschungseinrichtungen, Museen, Industrieunternehmen, kommerzielle Träger oder Vereine,
- Zielgruppe: Schüler, primär Oberstufe, und/oder nicht schulische Besucher,
- Dauer der Veranstaltungen: halb- oder ganztägig, in Einzelfällen auch mehrtägig,
- Lehrpersonen: Wissenschaftler, Lehrer, studentische und/oder nicht studentische Hilfskräfte,
- Unterrichtsbezug: je nach Absprache mit Lehrkräften unterschiedlich gegeben.

Die Angebote dieser Labore zur Bio- und/oder Gentechnik sind breit gefächert und beinhalten, je nach Veranstaltungsdauer, molekularbiologische Experimente verschiedener Schwierigkeitsniveaus, von einfachen DNA-Isolierungen aus Pflanzengewebe bis hin zur Polymerase-Kettenreaktion bei unterschiedlichen DNA-Proben.

### **2.2 Experimentieren im Lernort Labor**

Unter welchen Bedingungen nun Projektveranstaltungen im Lernort Labor die Möglichkeit bieten, ein Zusatzangebot zum schulischen Lernen zu sein, soll im Weiteren analysiert werden. Dabei müssen theoretisch begründete Kriterien zur Unterscheidung herangezogen werden.

Ausgangspunkt der Überlegungen können nur Faktoren sein, die das Erreichen einzelner der oben genannten Zielvorstellungen innerhalb schulischer Laborarbeit verhindern. Wie bereits erwähnt (vgl. Kap. II 1.1.2), ist forschungsähnliches Experimentieren in der Schule aus unterschiedlichen Gründen nicht durchführbar (vgl. auch Hofstein & Lunetta 2004, S. 48). Damit ist die Forschungsnähe eines Labors innerhalb von Universitäten, Forschungseinrichtungen oder forschenden Industrieunternehmen ein wesentliches Merkmal des Lernorts im Vergleich zum unterrichtlichen Experimentieren in der Schule. Sie macht den Lernort authentisch (vgl. auch Prenzel & Ringelband 2001, S. 7, Engeln 2004, S. 38). Authentizität wird in dieser Arbeit daher im Sinne einer möglichst großen Annäherung an die reale Welt der Forschung verstanden. Der Begriff ist jedoch nicht leicht zu fassen: „Authenticity is an under-theorized design principle at the centre of debates about the relationship

of school activities to professional practices" (Radinsky et al. 2001, S. 405). Trotzdem spielt Authentizität in konstruktivistisch geprägten Lehr-Lerntheorien eine entscheidende Rolle: Sie ist gegeben, wenn eine Lernumgebung es dem Lernenden ermöglicht, „mit realistischen Problemen und authentischen Situationen umzugehen“ und „einen Rahmen und Anwendungskontext für das zu erwerbende Wissen bereit“ stellt (Gerstenmaier & Mandl 1995, S. 879).

In einem Lernort Labor kann Authentizität auf verschiedenen Ebenen verwirklicht sein:

- Organisation des Trägers: Schüler können einen Einblick in das alltägliche Umfeld eines Wissenschaftlers erhalten, bspw. durch einen Bibliotheks- oder Mensabesuch oder durch eine Führung in einem Forschungslabor;
- Lehrpersonen: Schüler erleben Wissenschaftler und/oder abgeordnete bzw. beurlaubte Lehrer mit wissenschaftlichem Aufgabenbereich;
- Material und Methoden: Schüler arbeiten mit forschungsidetischen Geräten, Chemikalien und experimentellen Methoden, die für schulische Ressourcen nicht zugänglich sind und/oder deren Einsatz durch geltende Sicherheitsrichtlinien eingeschränkt ist, dies gilt speziell im Bereich molekularbiologischer Experimente zur Gentechnik (vgl. BVUK 2003, S. 44 ff.). Auch fortgeschrittene Techniken der Datenaufarbeitung und Modellierung charakterisieren die Authentizität forschungsähnlichen Experimentierens (Chinn & Malhotra 2002, S. 177).

Alle genannten Ebenen charakterisieren die „authentische Situation“ des Lernorts. Auf der inhaltlichen Ebene des Unterrichts im Labor lassen sich die Authentizität der vorgestellten Probleme bzw. Aufgaben und der experimentellen Arbeitsweisen differenzieren. Honebein et al. (1993, S. 89) halten eine unterrichtliche Problemstellung dann für authentisch, wenn sie die Anforderungen stellt, die im Anwendungsfall gefordert sind. Hodson (1998, S. 118) argumentiert: „authentic activities are ordinary day-to-day actions of the community of practitioners“. Chinn & Malhotra (2002) sehen als Ergebnis ihrer Untersuchungen einen Gradienten in der Authentizität von gestellten, experimentellen Aufgaben, der sich zwischen den Extremen „authentic inquiry“ und „simple inquiry“ aufspannt, wobei letztere „simple experiments, observations“ und „illustrations“ umfasst. Die beiden Extremtypen lassen sich im Hinblick auf die zugrunde liegenden kognitiven Prozesse differenzieren (vgl. Tab. 2).

**Tab. 2: Beispiele für kognitive Prozesse bei forschungsauthentischen und einfachen Experimenten (Chinn & Malhotra 2002, S. 180 ff.)**

Kognitiver Prozess	„authentic inquiry“	„simple experiment“
Entwicklung der Fragestellung	selbstentwickelt	vorgegeben
Kontrolle von Variablen	multiple Kontrollen	einzelne Kontrolle
Fehleranalyse	kontinuierlich	möglich, aber selten angewandt
Erklärungen	unterschiedliche Argumentationsmuster	kontrastierende Begründung

Zugrunde liegt dieser Differenzierung ein entscheidender Unterschied auf der erkenntnistheoretischen Ebene: In „simple inquiry“ – Aufgaben wird wissenschaftliche Erkenntnis als eine Abfolge von einfachen und sicheren Algorithmen gesehen (Chinn & Malhotra 2002, S. 190). Zur Beurteilung der Authentizität von experimentellen Aufgaben schlagen Chinn & Malhotra ein Kategoriensystem vor, das im Rahmen der unterrichtlichen Umsetzung zum Einsatz kommt (vgl. Kap. III 1.5).

Zusammenfassend lässt sich feststellen:

Authentizität erscheint als das entscheidende Charakteristikum des Experimentierens im Lernort Labor.

Um nun die vermuteten Einflüsse eines solchen Experimentierangebots auf dessen Akzeptanz, auf das erworbene Wissen und auf das Interesse an dessen inhaltlichen Aspekten zu untersuchen, ist notwendig, diese Konstrukte theoretisch aufzuarbeiten. Dies soll im Folgenden geleistet werden.

### 3. Theoretische Grundlagen zu den überprüften Konstrukten

#### 3.1 Akzeptanz

Das Wort Akzeptanz hat seit den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts sowohl in der Alltagssprache als auch in verschiedenen Wissenschaften „regelrecht ‚Verwendungskarriere‘ gemacht“ (Lucke 1995, S. 33). In so unterschiedlichen Forschungsdisziplinen wie Geographie, Soziologie, Rechtswissenschaften oder Psychologie (Schenk 2000, S. 11) sowie innerhalb verschiedener Fachdidaktiken finden empirische Akzeptanzuntersuchungen statt. Eine klare theoretische Auseinandersetzung mit dem Begriff fehlt in letzteren allerdings. Was im Detail in einzelnen Forschungsarbeiten unter Akzeptanz verstanden wird, wird teilweise gar nicht definiert (vgl. z.B. Birkenhauer 1992, Köhler-Krützfeld 2001, Obst-Kitzmüller 2002), oder es werden ohne theoretischen Bezug nur Aspekte des Akzeptierens methodisch erfasst, bspw. notenmäßige Bewertungen (Engeln 2004, S. 75). Im Einzelfall fehlen Angaben zur Güte des eingesetzten Messinstruments (Reinhardt 1986). Deshalb soll unter dem Blickwinkel des eigenen Forschungsgegenstandes zunächst Akzeptanz definitorisch geklärt werden, um in Anschluss daran Überlegungen zur Anwendung der gewonnenen Begriffsbestimmung anzustellen.

##### 3.1.1 Begriffsklärung

Enzyklopädisch wird Akzeptanz definiert als „bejahende oder tolerierende Einstellung von Personen oder Gruppen gegenüber normativen Prinzipien oder Regelungen, auf materiellem Bereich gegenüber der Entwicklung und Verbreitung neuer Techniken oder Konsumprodukte“ aber auch als „das Verhalten und Handeln, indem sich diese Haltung ausdrückt“ (Brockhaus 1986, S. 299). Akzeptanz wird damit als Eigenschaft von Subjekten angesehen, die sowohl auf einer Einstellungs- als auch einer Handlungsebene wirksam ist. Nur bezogen auf erstere definiert Rentsch (1988, S. 10) Akzeptanz als „Ausdruck einer positiven Einstellung eines Individuums einem Objekt gegenüber“ und sieht diese als „Produkt von Wahrnehmung und Bewertung“ eines „Einstellungsobjektes“ durch die „Einstellungsträger“ (1988, S. 11, vgl. auch Heiland 1999, S. 85). Rentsch sieht ein Kontinuum der Akzeptanz, das von der „Identifikation“ als „reflektierte, bewußte Zustimmung“ bis zur „(Pseudo-) Neutralität“ als einer „bewußt oder unbewußt wertneutralen Haltung“ reicht. An diese schließt sich ein entsprechender Gradient der „Ablehnung“ bis hin zur „Aversion“ an (1988,

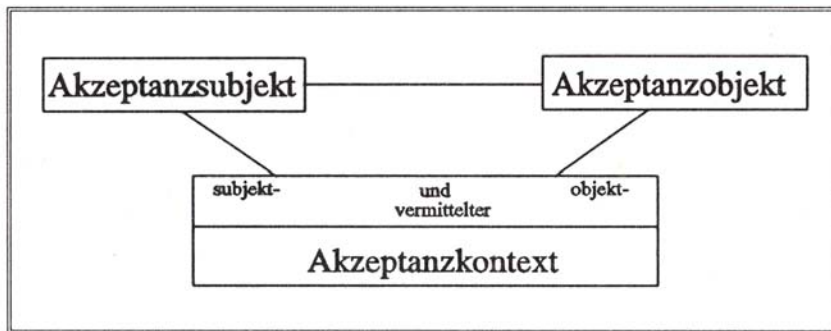
S. 12). Vergleichbar sieht Kolb (1988, S. 4 f.) „acceptance-rejection“ als ein „continuum of openness and closedness on the part of a person or group toward experience, objects, people, or groups“. Ebenfalls „in einem subjektiven Ansatz“, aber handlungsbezogen definiert Endruweit (2002, S. 6) Akzeptanz als „die Eigenschaft einer Innovation, bei ihrer Einführung positive Reaktionen der davon Betroffenen zu erreichen“. Innovation ist dabei „als jede Neuheit gegenüber dem Bestehenden zu sehen“, u.a. im Bereich Technik, Meinungen und Entscheidungen. Eine engere Definition liefert Meulemann (1994, S. 29), der Akzeptanz als „Zustimmungsbereitschaft zu einer politischen Maßnahme in der Bevölkerung verstanden als Eigenschaft dieser Maßnahme“ bzw. als „Bereitschaft von Personen, Traditionen als für ihre Lebensführung selbstverständlich hinzunehmen“ sieht.

Gegenüber diesen einstellungspsychologischen oder sozialisationstheoretischen Begriffsbestimmungen charakterisiert Lucke (1995, S. 88 ff.) die Akzeptanz umfassender, um „zumindest für wissenschaftliche Zwecke zu einer hinreichend genauen Definition“ (Lucke 1998, S. 18) zu gelangen.

Folgende Aspekte erscheinen im Hinblick auf die Akzeptanz einer Unterrichtsveranstaltung im Lernort Labor besonders bedeutsam:

- Akzeptanz ist das Ergebnis einer Wechselwirkung „im analytischen Dreieck von Objekt, Subjekt und Kontext“ (vgl. Abb. 3). Sie ist damit weder eine rein objektseitige noch eine rein subjektseitige Eigenschaft, letzteres im Gegensatz zu einer subjektiven Einstellung. Dieses Modell lässt sich auf die Akzeptanz von Unterricht anwenden (vgl. unten Kap. II 3.1.2).
- Akzeptanz ist auf der „Einstellungs- und Verhaltensebene“ Ausdruck einer freiwilligen und selbstbestimmten „positive[n] Grundhaltung“ des Subjekts gegenüber dem Akzeptanzobjekt. Sie sollte daher auf der Subjektebene als messbares Konstrukt eines latent vorhandenen und affektiv wirksamen Merkmals operationalisierbar sein.
- Akzeptanz muss erst entstehen und ist kontextbezogen „nicht einfach und für immer da“. Um nachhaltig vorhanden zu sein, muss sie auf der Subjektseite in entsprechender Höhe „individuell internalisiert“ sein. Es sind also schülerabhängige Unterschiede in der Akzeptanz zu erwarten.

- Akzeptanz ist keine einfache Zustimmung, sondern beinhaltet immer auch „aktive Komponenten“. Auf der kognitiven Ebene zeigt sich dies in Form eines „teilweise anstrengenden Sich-Aneignens“, in diesem Fall komplexer Lerninhalte aus dem Bereich der Gentechnik, und eines „begründbaren“ und damit operationalisierbaren „Zustimmens“.



**Abb. 3: Akzeptanz als Beziehung zwischen Subjekt, Objekt und Kontext (Lucke 1995, S. 89)**

Damit erscheint die von Lucke (1995, S. 104) aus diesen Punkten entwickelte Definition in vereinfachter Form für die vorliegende Studie als geeignet: Akzeptanz ist „die Chance, für bestimmte (...) Maßnahmen (...) bei einer identifizierbaren Personengruppe ausdrückliche oder stillschweigende Zustimmung zu finden und unter angebbaren Bedingungen aussichtsreich auf deren Einverständnis rechnen zu können“. Die Chancen lassen sich dabei „kommunikativ“ und „interaktiv“ herstellen und „beruhen auf [den] Prinzipien der Reziprozität und Intersubjektivität“. Ausgehend von dieser Definition sollen im Folgenden genauere Überlegungen zur Akzeptanz der entwickelten Unterrichtsmodule angestellt werden.

### 3.1.2 Untersuchungsbezogene Überlegungen

Als „transitiver“ Begriff (Lucke 1995, S. 89) lässt sich Akzeptanz nur in der Beziehung zum entsprechenden Objekt, der unterrichtlichen Projektveranstaltung zur Gentechnik im Lernort Labor, verstehen. Dabei geht es weniger um die Wahrnehmung von isolierten Eigenschaften als vielmehr von einer „Ganzheit“ (Lucke 1995, S. 90), die bspw. die vermittelten Inhalte und deren Darbietung oder die Lehrperson umfassen kann. Bei den Schülern als einer „eingrenzba- ren Personengruppe“ sind „individuelle und kollektive Assoziationen und regelmäßige Reaktionen“ (Lucke 1995, S. 90) auf den Unterricht zu erwarten. Auf der dritten Ebene sind Beispiele für subjektvermittelte Kontexte bisherige Unterrichtserfahrungen im Fach Biologie, das vorhandene Vorwissen sowie die damit

erreichten schulischen Leistungen. Auch allgemeine Erfahrungen beim unterrichtlichen und eventuell außerschulischen Experimentieren können sich auswirken. Wichtig sind über „maßgebliche Bezugsgruppen“ vermittelte „soziale Kontexte“ des Themas, z.B. durch die unterrichtenden Lehrkräfte und/oder durch die Familie bzw. die Freundesgruppen. Objektvermittelte Kontexte sind im Wesentlichen der Lernort und die instruktionalen Bedingungen des Unterrichts, bspw. die eingesetzten Medien oder die Qualität der Erklärungen.

Zusammenfassend wird unter Bezug auf Lucke (1995, S. 105) Akzeptanz bei den Schülern „idealtypischerweise dann gegeben“ sein, wenn sie der besuchten Unterrichtsveranstaltung

- „grundsätzlich affirmativ gegenüberstehen und [ihr] verstandesgemäß und emotional ‚zugeneigt‘ sind“,
- ihr auch auf der konkreten Unterrichtsebene „uneingeschränkt zustimmen und diese vorbehaltlos billigen“ und
- „mit angeführten Argumenten hinsichtlich ihrer „Legitimität (...) in hohem Maße übereinstimmen“.

Auf der Basis dieser Überlegungen lassen sich nun Operationalisierungen für das Konstrukt Akzeptanz im unterrichtlichen Kontext finden (vgl. Kap. V 4.2.1).

### **3.2 Wissenserwerb**

Eine „Hauptaufgabe von Biologieunterricht“, auch in einem Lernort Labor, ist es, „jungen Menschen zu ermöglichen, sicheres, nachhaltiges, intelligentes und ausbaufähiges Wissen zu erwerben“ (Graf 2004, S. 54). Seit der „kognitiven Wende“ in der Psychologie (Neber 2001, S. 115) – „cognitive psychology is said to be displacing behavioral psychology“ (Friman et al. 1993, S. 658) - werden hierfür solche Lernvorgänge als Voraussetzung angesehen, die zum Aufbau kognitiver Strukturen beim Lerner führen. So erworbenes Wissen enthält mehr als die durch reine Darbietung vermittelten Inhalte – „one goes beyond a set of observed (criterial) properties exhibited by an object“ (Bruner et al. 1956, S. 242). Die Bedeutung behavioristischer Lerntheorien für den naturwissenschaftlichen Unterricht hat dementsprechend abgenommen (Duit & Treagust 1998, S. 4). Sie definieren Lernen als „process that results in a permanent change in behaviour (...) by which the mind



reacts to external stimuli“ (Colette & Chiapetta 1984, S. 515), also „ex post, d.h. vom Ergebnis der stattgefundenen Veränderung her“. (Gruber et al. 2001, S.126). Kognitive Lernmodelle dagegen beschreiben „Lernen im Sinne von Wissenserwerb“ als „Aufbau und die fortlaufende Modifikation von Wissensrepräsentationen“ (Steiner 2001, S. 164) und betonen damit die Konstruktion von Wissen (Mayer 1992, S. 407). Speziell für das experimentell vermittelte Lernen werden konstruktivistische Theorien als Basis vorgeschlagen: „Learners construct their ideas and understanding on the basis of series of personal experiences (Hofstein & Lunetta 2004, S. 32). Im Folgenden sollen deshalb zunächst diese Vorstellungen dargelegt werden, um dann Folgerungen für die unterrichtliche Umsetzung im Lernort Labor zu ziehen.

### 3.2.1 Konstruktivistische Vorstellungen zum Lernen

Ausgangspunkt der Überlegungen sind die von Gerstenmaier und Mandl beschriebenen drei Varianten des Konstruktivismus (1995, S. 868).

- Konstruktivismus als Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie  
Dieser so genannte „radikale Konstruktivismus“ versucht die Frage „nach der Objektivität des Wissens und sein Verhältnis zur Welt“ zu klären (Gerstenmaier und Mandl 1995, S. 868). Seine Grundthese ist, dass „wir die Welt, die wir erleben, unwillkürlich aufbauen“ und „unser Wissen nicht als Bild [der Wirklichkeit] interpretiert werden“ (v. Glasersfeld 2001, S. 17) kann. Sie widerspricht damit von einer anderen Ebene her sowohl einem induktiven, empiristischen Wissenschaftsverständnis – „objectivists attribute to knowledge an existence independent of the knower“ (Roth 1994, S. 198) - als auch positivistischen Vorstellungen - „Experiments were shown to be ways to ‚prove‘ or ‚falsify‘ hypotheses rather than a method to construct new conceptual-theoretical meanings“ (Nowak 1988, S. 80, vgl. oben Kap. II 1.1.1). Eine unterrichtliche Thematisierung dieser Ebene würde allerdings den Rahmen der Wissenschaftspropädeutik in der geplanten Projektveranstaltung unangemessen ausweiten.
- Neuer Konstruktivismus in der Soziologie, Kognitionswissenschaft und Psychologie  
Diese Variante versucht, Wissen theoretisch zu modellieren und kontextuell und kulturell einzubetten. Wissen wird als intersubjektiv angesehen. Bedeutsam im

Hinblick auf das Lernen über Experimente sind die Ansätze der „situierten Kognition“ und der „communities of practice“: Erstere beschreiben die „Untersuchung der Entstehung und Bedeutungszuweisungen von [mentalen] Repräsentationen“ und letztere stellen die Bedeutung des sozialen Kontextes heraus (Gerstenmaier und Mandl 1995, S. 868). Die Metaanalyse von Wilde (2004, S. 17 ff.) zeigt jedoch, dass die genaue Einordnung dieser Theorien unter dem Begriff „Situating Cognition“ „noch (...) im Fluss“ ist und „der Begriffsbildungsprozess“ im Hinblick auf eine Abtrennung von der folgenden Variante „noch am Werk“ ist.

- Moderater Konstruktivismus in der Instruktionspsychologie und der empirischen Pädagogik

Der moderate Konstruktivismus, auch pragmatisch (Gerstenmaier & Mandel 1995, S. 882) oder gemäßigt bzw. wissensbasiert genannt (Reinmann-Rothmaier & Mandl 2001, S. 626), sieht Lernen im Wesentlichen durch prozessuale Merkmale gekennzeichnet (Tab. 3, vgl. Reinmann-Rothmaier & Mandl 2001, S. 626).

**Tab. 3: Prozessmerkmale des Lernens aus der Sicht des moderaten Konstruktivismus**

Prozessmerkmal	Erläuterung	Voraussetzungen
Aktiv	Aktive Beteiligung des Lerners notwendig	Lernmotivation, Bezug zum Interesse
Selbstgesteuert	Verantwortung des Lerners für die Steuerung und Kontrolle des Lernens	Ausmaß abhängig von den Gegebenheiten der Lernsituation
Konstruktiv	Aufbau neuer und/oder Veränderung vorhandener kognitiver Strukturen beim Lerner	Vorhandene kognitive Strukturen und damit Kenntnisse und Fähigkeiten
Situativ	Konkretes Lernen nur in inhaltsbezogenen Kontexten möglich	Mindestmaß an Situiertheit der Lernsituation
Sozial	Wirkung von soziokulturellen Einflüssen auf den Lerner und Interaktivität von Lernsituationen	-

Spezifisch bezogen auf konstruktivistisches Lernen anhand experimenteller Unterrichtstätigkeiten ergänzt Hodson (1998, S. 32) folgende Aspekte: Aufgrund schulischer aber auch außerschulischer experimenteller Erfahrungen können mentale Repräsentationen bestätigt oder widerlegt, angepasst oder neu entwickelt werden. Experimente, aber auch Beobachtungen oder textbasierte Informationen, werden in Bezug zum vorhandenen Vorwissen gesetzt und erst dadurch neue Bedeutungen generiert. Dabei ist die Restrukturierung ein kumulativer und kontinuierlicher Prozess, allerdings nicht einfach additiv. Quantitative und/oder

qualitative Veränderungen laufen ab, die zu einer Bewertung des neu erworbenen Wissens führen. Damit wird eine Ablehnung oder Annahme der neuen Wissensstrukturen induziert, letztere bedeutet nach Mayer (1992, S. 408) „building (...) connections between the organized new knowledge and organized existing knowledge“. Auf die damit verknüpften Theorien zum Konzeptwechsel (zusammengefasst bei Häußler et al. 1998, S. 192 ff.) soll in diesem Zusammenhang nicht weiter eingegangen werden.

Tobin (1990, S. 405) zieht für den experimentellen Unterricht den Schluss: „Constructivism implies that students require opportunities to experience what they are to learn in a direct way and time to think and make sense of what they are learning. Laboratory activities appeal as a way of allowing students to learn with understanding and, at the same time, engage in a process of constructing knowledge by doing science“. Damit stellt sich die Frage, wie lässt sich ein Unterricht gestalten, der diese Lernvorgänge ermöglichen kann, denn eine konstruktivistische Lerntheorie muss nicht notwendigerweise mit einem konstruktivistisch orientierten Lernangebot verknüpft werden: „construction of new ideas takes place internally (...) [and] occurs whenever any successful learning takes place and is independent of the form of instruction“ (Millar 1989, S. 589).

### **3.2.2 Gegenüberstellung von Lernumgebungen nach den Prinzipien von Instruktion und Konstruktion**

Die Lerntheorie des moderaten Konstruktivismus nimmt für sich in Anspruch, Begründungen für eine „Gestaltung von Lernumgebungen zur Förderung des Wissenserwerbs“ zu geben, „die eine aktive Auseinandersetzung mit Problemen anregen und die Anwendungsqualität des Wissens erhöhen sollen (Gerstenmaier und Mandl 1995, S. 874 f.). Diese stehen damit nach Reinmann-Rothmaier & Mandl (2001, S. 605 f.) als „konstruktivistisch geprägte Auffassung“ in Gegensatz zur „kognitivistisch gefärbten Auffassung (...) zum Lehren und Lernen“ und deren „Leitlinien für die Gestaltung gegenstandszentrierter Lernumgebungen“ unter dem „Primat der Instruktion“. Dort wird das „Lehr-Lerngeschehen als ein Prozess betrachtet, bei dem der Lehrende objektive Inhalte so zu übermitteln versucht, dass der Lernende am Ende dieses ‚Wissenstransports‘ den vermittelten Wissensausschnitt in ähnlicher Form besitzt wie der Lehrende“. Somit kommt der Planung, Organisation und Steuerung des Unterrichts durch den Lehrer eine zentrale

Rolle zu. Der Schüler steht diesem passiv rezipierend gegenüber und muss die Lerninhalte aufgrund der optimalen Vorarbeit selbst nicht mehr durchstrukturieren (Lowyck & Elen 1991, S. 219). Auf dieser Basis sind im angelsächsischen Sprachraum verschiedene Instructional-Design-Theorien (Reigeluth 1999) entstanden. Als Beispiel sei im Bereich des computergestützten Lernens die Instructional-Transaction-Theorie angeführt, die den Anspruch hat, sehr exakt Wissensrepräsentationen, Unterrichtsstrategien und -voraussetzungen für die Entwicklung von multimedialen Lernumgebungen zu beschreiben (Merril 1999, S. 399). Im Bereich des experimentellen Unterrichtens lassen sich hier die „instructional modules“ oder „learning activity packages“ (Collette & Chiappetta 1984, S. 296) zuordnen, die Schüler einzeln oder in Gruppen bearbeiten, dabei sind die Ziele und Strategien i.d.R. vom Lehrer vorgegeben. Der behauptete Anspruch, „well-planned and well-developed packages, modules, or minicourses can be stimulating and refreshing to students [and] help students achieve the objectives as well as interest them in learning science“ (Collette & Chiappetta 1984, S. 296) lässt sich nach Rheinmann-Rothmaier & Mandl (2001, S. 612 f.) jedoch empirisch nicht belegen und ist eines der Probleme, die mit dieser Lehr-Lernauffassung verknüpft sind. Als weitere nennen sie die Methodik „Ganzheiten in elementare Teile zu zerlegen und dann getrennt von einander zu vermitteln“, die „Annahme, dass sich die Wirkung einzelner Methoden genau vorhersagen lasse“, die „rezeptive Rolle“ der Schüler, die u.U. zu reduzierter Motivation und Selbstverantwortung führen kann (vgl. auch Deci & Ryan 1993) und den oft fehlenden Alltagsbezug, der zum Aufbau trägen Wissens beiträgt (vgl. auch Renkl 2001).

Demgegenüber zeichnen sich konstruktivistisch gestaltete Lernumgebungen nach Gerstenmaier & Mandl (1995, S. 879) durch folgende Merkmale aus:

- „Authentizität und Situiertheit“:  
Dies bedeutet den Umgang mit „realistischen Problemen und authentischen Situationen“, um einen „Anwendungskontext für das zu erwerbende Wissen“ bereitzustellen;
- „multiple Kontexte“:  
Sie stellen sicher, dass Wissen nicht in einem Kontext verhaftet bleibt, sondern auf weitere Aufgabenstellungen übertragbar ist;

- „multiple Perspektiven“:  
Probleme werden aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet und unter differierenden Aspekten bearbeitet, auch damit wird die Übertragbarkeit von Wissen verbessert;
- „Sozialer Kontext“:  
Situierete Aufgabenstellungen werden kooperativ auf der Lernerebene, aber auch zwischen Lerner und Experten erarbeitet.

Um eine Förderung des Wissenserwerbs wirklich zu ermöglichen, müssen nach Gerstenmaier & Mandl (1995, S. 879) noch folgende Voraussetzungen gegeben sein: Der Lerner muss innerhalb des Unterrichts die Möglichkeit haben, „eigene Wissenskonstruktionen und Interpretationen vorzunehmen sowie eigene Erfahrungen zu machen“. Er muss sich dieser Chance aber auch bewusst sein und sie tatsächlich nutzen.

### 3.2.3 Folgerungen für den Unterricht

Aufbauend auf den genannten Merkmalen schlagen Reinmann-Rothmaier & Mandl (2001, S. 627 f.) einen problemorientierten Unterricht vor, in dem sie zum einen die „gemäßigt konstruktivistische Auffassung vom Lernen“ für verwirklicht sehen, zum anderen aber wesentliche Kritikpunkte an rein konstruktivistischen orientierten Lernumgebungen aufnehmen: „Instruction must provide information for learners knowledge construction“ (Resnick 1989, S. 2). Ohne instruktionale Unterstützung kann es zur Überforderung der Lerner kommen (vgl. z.B. Leutner 1992, S. 188): „The knowledge rich would grow greatly in knowledge, the knowledge poor very little“ (Resnick 1989, S. 3, vgl. auch Glaser 1984, S. 97 ff.). Problemorientierung ist dadurch definiert, dass der Lehrer Probleme ins Zentrum des Unterrichts stellt, die „entweder authentisch sind oder Bezug zu authentischen Situationen/Ereignissen haben, für die Lernenden relevant sind, eine gewisse Aktualität haben und deshalb neugierig und auch betroffen machen“ (Reinmann-Rothmaier & Mandl 2001, S. 627). Vergleichbar argumentieren Perkins & Unger (1999, S. 100 ff.) in ihrem gemäßigt konstruktivistisch orientierten Modell des „Teaching and Learning for Understanding“: Auf der inhaltlichen Ebene sollen die Lerninhalte zentrale Aspekte eines Wissensbereiches sein, interessant (vgl. unten Kap. II 3.3.2) und dadurch motivierend sowohl für den Schüler, als auch für den Lehrer sein sowie

Anknüpfungspunkte an andere Bereiche innerhalb und außerhalb des Themas, aber auch an das fachliche und alltagsbezogene Vorwissen der Schüler bieten. Auf einer metakognitiven Ebene sollen die Ziele des Unterrichts den Schülern klar dargestellt und deren Erreichen über wiederholte Feedbackmöglichkeiten überprüfbar werden. Resnick (1989, S. 10) spricht von „intentional learning, learning that is actively desired by and controlled by the learner“.

Folgende Leitlinien werden von Reinmann-Rothmaier & Mandl für einen problemorientierten Unterricht vorgeschlagen (2001, S. 627 f.), die für die Planung von Experimentalunterricht im außerschulischen Lernort Labor geeignet erscheinen:

1. Situiert und anhand authentischer Probleme lernen:

Die Situietheit ist aufgrund der authentischen Situation des Lernorts gegeben und ermöglicht es somit leichter als in der Schule, Lernprozesse an authentischen Problemen unterrichtlich zu verwirklichen (vgl. oben Kap. II 2.2).

2. In multiplen Kontexten lernen:

Ein molekularbiologisches Modul zu Fragen der Gentechnik bietet per se unterschiedliche Kontexte an, bspw. die mechanistische Betrachtung zentraler Vorgänge wie der Transformation oder methodische Aspekte der durchgeführten Experimente.

3. Unter multiplen Perspektiven lernen:

Experimenteller Unterricht im Bereich der Gentechnik ist fächerübergreifend in fächerkoordinierender Form (Häußler et al. 1998, S. 47): Ein Lerninhalt wird zwar primär aus der Perspektive der Biologie bearbeitet, aber auch biochemische und physikalische Aspekte, z.B. beim Bau und bei der Trennung von Makromolekülen, spielen eine wesentliche Rolle. Über die ethische Perspektive der molekularbiologischen Inhalte kann - ausgehend vom experimentellen Handeln der Schüler – bspw. mit gesundheitlichen Themen ein Bezug zur Lebenswelt hergestellt werden.

4. In einem sozialen Kontext lernen:

Experimentieren in einem außerschulischen Labor ermöglicht ein gemeinsames Arbeiten sowohl der Schüler untereinander, als auch mit einem Experten im Sinne eines kooperativen Lernens (vgl. Renkl & Mandl 1995, S. 293. ff.).

#### 5. Mit instruktionaler Unterstützung lernen:

Gerade im Bereich der Gentechnik sind forschungsnah und damit authentische Inhalte und Experimente so komplex, dass das notwendige Wissen teilweise über den Lehrer vermittelt werden muss.

Damit speziell ein experimenteller Unterricht nach diesen Leitlinien erfolgreich sein kann, müssen nach Hodson (1992, S. 72 f.) allerdings auf der Lernerseite wichtige Voraussetzungen gegeben sein: ein ausreichendes, insbesondere konzeptuelles Vorwissen, ein gewisses Verständnis von wissenschaftlichem Arbeiten, genügend praktische Fertigkeiten, aber auch affektive Komponenten wie Selbstvertrauen, Engagement und Entschlossenheit.

### 3.2.4 Cognitive-Load-Theorie

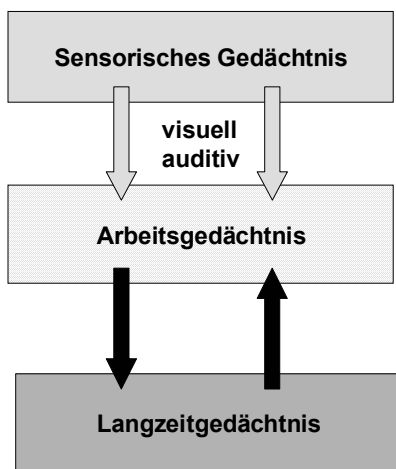
Auf einer allgemeineren Ebene sind für einen Wissenserwerb des Lerners noch dessen Gedächtnisleistungen zu berücksichtigen. Hierzu liefert die Cognitive-Load-Theorie (CLT) eine theoretische Basis. Sie ist „an internationally well known and widespread theory, which has been empirically confirmed in numerous studies“ (Bannert 2002, S. 139). Die kognitive Auslastung (auch als Belastung übersetzt (vgl. z.B. Stark et al. 2002, S. 12) ist definiert als ein „construct representing the load that performing a particular task imposes on the cognitive system“ (Sweller et al. 1998, S. 266).

Grundlage der CLT (Sweller et al. 1998, S. 252 ff.) ist das Mehrspeichermodell des menschlichen Gedächtnisses (Abb. 4). Eingehende Informationen werden über das sensorische Gedächtnis in das Kurzzeitgedächtnis übertragen, den „Ort des Bewusstseins“, dort verarbeitet und u.U. als Lernergebnis in das Langzeitgedächtnis übertragen (Hasselhorn & Schumann-Hengsteler 2001, S. 17 ff.).

Pollock et al. (2002, S. 62) geben folgende Grundannahmen der Theorie an:

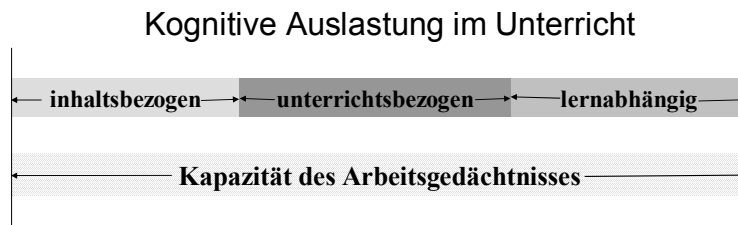
- die begrenzte Kapazität des Arbeits- oder Kurzzeitgedächtnisses, die gleichzeitig nur eine Verarbeitung ca. sieben Informationselementen erlaubt (Miller 1956, S. 90, Baddeley 1992, S. 556);
- die prinzipiell unbegrenzte Kapazität des Langzeitgedächtnisses;
- die Existenz kognitiver Schemata – „mentale Repräsentationen (...), die typische Zusammenhänge innerhalb eines Realitätsbereichs repräsentieren“ (Schmotz 2001, S. 76) - mit unterschiedlicher Komplexität im Langzeitgedächtnis, die die Grundlage des vorhandenen Wissen bilden;

- automatisierte und damit unbewusste Verarbeitung von Schemata im Arbeitsgedächtnis.



**Abb. 4: Mehrspeichermodell des Gedächtnisses als Basis der CLT**

Die kognitive Auslastung entspricht damit der mentalen Aktivität des Arbeitsgedächtnisses, und optimales Lernen kann nur bei effektiver Nutzung der vorgegebenen Kapazität stattfinden. Sweller et al. (1998, S. 259) unterscheiden drei Arten von „cognitive load“ (Abb. 5):



**Abb. 5: Arten der kognitiven Auslastung des Arbeitsgedächtnisses (die dargestellten Balkenlängen sollen mögliche relative Beziehungen verdeutlichen; weitere Details im Text)**

- Inhaltsbezogene Auslastung („intrinsic load“):  
Sie wird durch die Komplexität der vermittelten Lerninhalte bestimmt: Ihre Höhe wird durch „the expertise of the learners“ (Paas et al. 2003, S. 65) beeinflusst.
- Unterrichtsbezogene Auslastung („extraneous load“):  
Sie wird durch die Art der Darstellung und der Vermittlung der Lerninhalte in der unterrichtlichen Umsetzung bedingt.
- Lernabhängige Auslastung („germane load“):  
Sie beschreibt die notwendige Auslastung für die Verarbeitung der unterrichteten Informationen im Hinblick auf die Übertragung in das Langzeitgedächtnis.



Auf diese Theorie wird in der Diskussion zurückgegriffen (vgl. Kap. VII 2.2).

### **3.3 Interesse**

Ein wesentliches Ziel, das in der Sicht der Träger mit Schülerlaboren erreicht werden soll, ist es, „Interesse von Schülern und Schülerinnen an naturwissenschaftlich-technischen Fächern zu fördern“ (Prenzel & Ringelband 2001, S. 7) oder „Interesse für die Arbeit in der Forschung wachzurufen (Tegen 2004, S. 6). Was im Einzelnen dabei unter Interesse verstanden wird, bleibt ungeklärt. Im Hinblick auf die vorliegende Fragestellung, ob molekularbiologischer Experimentalunterricht im Lernort Labor einen Einfluss auf das Interesse an gentechnischen Themen haben kann, erscheinen zwei Aspekte wichtig:

Zum einen ist das Konstrukt Interesse ausgehend von seinen Merkmalen unter diesem Bezug begrifflich zu klären, zum anderen sind geeignete Konzepte des Interesses und vorliegende Erkenntnisse zum Schülerinteresse an der Gentechnik mit einzubeziehen. Dies soll im Folgenden geleistet werden.

#### **3.3.1 Begriffsbestimmung**

Grundlage der folgenden Ausführungen ist die Personen-Gegenstands-Theorie des Interesses. Sie definiert das Konstrukt „als besondere Relation zwischen [einer] Person und [einem] Gegenstand“ (Prenzel 1988, S. 118), dabei ist ein Gegenstand „etwas von der Person Äußerliches“ mit einem „objektiven Gehalt“, der in deren „Repräsentationssystem (...) in jeweils bestimmter Weise festgelegt oder konstruiert“ wird (Prenzel 1988, S. 115).

Zunächst kann der Begriff unter Bezug auf zwei Kriterien genauer beschrieben werden (Urhahne 2002, S. 63): Interesse hat einen „intrinsischen Charakter“ und weist „Gegenstandsspezifität“ auf. Schiefele & Köller (2001, S. 304) sehen Interesse als „gegenstandszentrierte intrinsische Motivation“, die sich von einer „tätigkeitszentrierten“ Form unterscheiden lässt. Die Beschäftigung mit einem Interessegegenstand tritt nicht auf, weil „eine Person eine bestimmte Aktivität gern ausführt“ (Schiefele & Köller 2001, S. 304), also aus reinem Vergnügen, oder, in Abgrenzung zur extrinsischen Motivation, „um damit positive Folgen herbeizuführen oder negative Folgen zu vermeiden (Schiefele & Köller 2001, S. 305), sondern sie wird vom Interessierten selbst veranlasst, sie ist „selbstintentional“ (Prenzel 1988, S.

119). Die Gegenstandsspezifität ist für Krapp (2002, S. 387) „one central characteristic of the interest construct“, die dieses von ähnlichen Konstrukten wie Aufmerksamkeit, Aktivierung, Neugier oder Exploration abgrenzt („attention, arousal, curiosity and exploration“, Krapp et al. 1992, S. 8).

Bezogen auf einen molekularbiologischen Unterricht zur Gentechnik im Lernort Labor kann jeder Inhalt des kognitiv repräsentierten Wissens Gegenstand des Interesses von Schülern sein, seien es konkrete Objekte oder abstrakte Lerninhalte. Hoffmann (2002, S. 449) unterscheidet unter Bezug auf Gardner (1985, S. 23) drei Ebenen schulisch relevanten Interesses:

- Interesse an einem Teilbereich des Unterrichtsfaches, z.B. ein allgemeines Interesse an Gentechnik;
- Interesse an einem bestimmten Kontext, in dem dieser Teilbereich als Lerninhalt präsentiert wird, bspw. Anwendungen der Gentechnik in der Ernährung oder Biowaffenproduktion;
- Interesse an bestimmten Aktivitäten, die für eine Beschäftigung mit dem Lerninhalt innerhalb des gewählten Kontextes durchgeführt werden können, genannt sei hier das Experimentieren.

Die beiden ersten Dimensionen betreffen den kognitiven Bereich des Interesses. Finke (1998, S. 60) nennt dies die „kognitiv-rezeptive Form von Interesse“. Hier zeigt sich Interesse als Tendenz zur Erweiterung des Wissens (Prenzel & Krapp 1992, S. 3), bezeichnet auch als epistemisches Verhalten (Berlyne 1974, S. 324) oder als epistemische Komponente des Interesses (Engeln 2004, S. 63): „The persons' ,epistemic interests' (...) induce a person to acquire new knowledge and competencies related to these areas“ (Krapp 2002, S. 387). Renninger (1997, S. 362) sieht daher Interesse auch als Netzwerk von Wissensinhalten, das im Langzeitgedächtnis einer Person gespeichert ist.

Die dritte Ebene wird im Sinne von Schiefele & Köller (2001, S. 304) nicht als Interesse, sondern als „tätigkeitszentrierte intrinsische Motivation“ bewertet, die im Idealfall in das „Flow“-Erleben übergehen kann, wenn „die wahrgenommenen Handlungsanforderungen den wahrgenommenen Handlungsfähigkeiten entsprechen“ (Prenzel 1988, S. 55). Die Person ist dann so konzentriert, dass andere

Tätigkeiten oder Gedanken aus dem Bewusstsein gedrängt werden, und das Zeitgefühl sich ändert (Csikszentmihalyi 1992, S. 103).

Neben den bisher genannten Kriterien lassen sich noch weitere Bestimmungsmerkmale für das Interesse angeben:

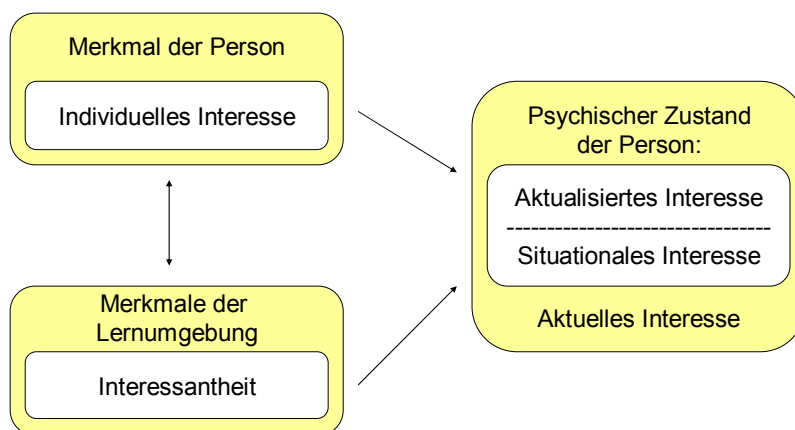
- „Merkmal der positiven Emotionalität“ (Prenzel 1988, S. 120): Interessiertes Handeln ist mit Gefühlen wie Freude, Ansporn oder Engagement verbunden und erzeugt damit positive emotionale Zustände und/oder Erfahrungen (Krapp 2002, S. 389). Diese werden als gefühlsbezogene Wertüberzeugungen im kognitiv-emotionalen Repräsentationssystem eines interessierten Menschen mit interessebezogenen Handlungen gekoppelt und abgespeichert (Schiefele & Rheinberg 1997, S. 256). Vereinzelt wird Interesse auch als „eine der angeborenen fundamentalen Emotionen“ des Menschen angesehen (Izard 1981, S. 268).
- Positive Wertschätzung (Urhahne 2002, S. 64): Ein Interessegegenstand besitzt „personal significance“ (Krapp 2002, S. 388) und wird deshalb langfristig in das Selbst-Konzept einer Person integriert (Krapp 1992b, S. 324): „Interest-driven activities are part of a person’s self-concept, and are therefore relevant to self-definition and identity“ (Hannover 1998, S. 105). Die damit angesprochene zeitliche Ebene lenkt den Focus auf die beiden „Konzeptualisierungen“ des Interessenbegriffs innerhalb der aktuellen Interessentheorie (Upmeier zu Belzen 1998, S. 8), die unten (Kap. II 3.3.2) vorgestellt werden.

Gerade das letztgenannte Merkmal der positiven Wertschätzung erlaubt es, Interesse beispielhaft vom ebenfalls gegenstandsbezogenen Konstrukt Einstellung abzugrenzen. Keck (1998, S. 11) definiert dieses als „eine relativ stabile (persistente und resistente) Tendenz (...), auf bestimmte Objekte mit ganz bestimmten Gefühlen, Wahrnehmungen und Vorstellungen zu reagieren“. Einstellungen können, müssen aber keine positive Gefühlsbeziehung darstellen. Nach der Studie von Keck (1998, S. 39. f.) halten bspw. Oberstufenschüler zu 31,3 % Gentechnik für „gefährlich“ und 47,9 % für „risikoreich“. Einstellungen sind weiterhin nicht epistemisch, im Gegenteil: Urban (2001, S. 58) zeigt im Rahmen seiner Studie auf, dass im Bereich der Gentechnik „Einstellungen (...) typischerweise nicht über Wissensinhalte stabilisiert werden“.

Die Beziehungen zwischen beiden Konstrukten selbst werden widersprüchlich gesehen. Krapp (2002, S. 388) bspw. nimmt Interesse nur als „compatible with the attitudes“ an, während für Berck & Klee (1992, S. 194 ff.) eine positive Einstellung als Voraussetzung für die Entwicklung von Interesse ansehen. Im Gegensatz dazu ist für Vogt (1998, S. 14) Interesse eine wesentliche Voraussetzung für die Änderung von Einstellungen.

### 3.3.2 Konzepte des Interesses

Krapp (2001, S. 287) sieht zwei mögliche Analyseperspektiven einer „interessethematischen Person-Gegenstands-Beziehung“, einerseits die „Perspektive aktueller Zustände oder Prozesse“, andererseits die „Perspektive relativ dauerhafter Strukturen“. Diese sind in zwei unterschiedlichen Konzepten des Konstruktes fassbar und werden als individuelles bzw. situationales Interesse bezeichnet (Krapp et al. 1992, S. 6 f., Abb. 6).



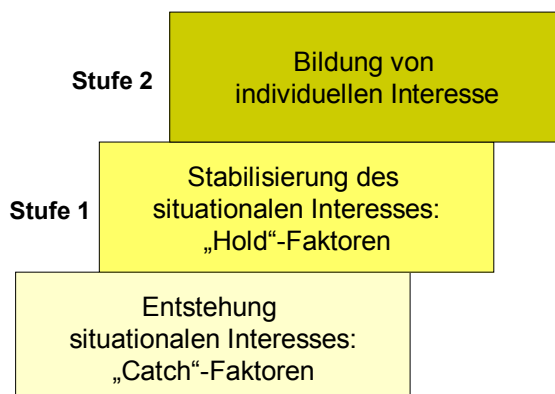
**Abb. 6: Beziehungen zwischen verschiedenen Konzepten des Interesses (veränd. nach Urhahne 2002, S. 67)**

Das zeitstabile individuelle oder persönliche Interesse – auch als dispositionales Interesse bezeichnet (Engeln 2004, S. 52) - ist auf der Ebene motivationaler Dispositionen als Personenmerkmal wirksam, „as a relatively stable tendency to occupy oneself with an object of interest“ (Krapp 2002, S. 388). Bezogen auf gentechnischen Fragestellungen kann ein solches Interesse bei Schülern intrinsisch motivierend wirken und zu Interessehandlungen wie Informationsbeschaffung ohne äußere Veranlassung, z.B. schulisch bedingte Arbeitsaufträge, führen. Nach Keck (1998, S. 27) sind ca.  $\frac{3}{4}$  der Oberstufenschüler „an Themen der Gentechnik (...) ‚sehr interessiert‘ oder ‚ziemlich interessiert‘“. Die Ergebnisse von Todt & Götz (1998,

S. 5 ff.) zeigen, dass dieses Informationsinteresse recht differenziert ist, speziell bei „Fragen der Verantwortbarkeit (Ethik) der Gentechnologie und Fragen ihrer Anwendung im Bereich Umweltschutz und Therapie“ ist es hoch. „Wissenschaftliche Fragen“ sind nur im Zusammenhang „verantwortbarer Anwendungen“ interessant. „Wirtschaftliche Aspekte“ spielen nur eine untergeordnete Rolle (Todt 1996, S. 35).

Auf der Basis eines „gut gesicherten“ positiven Zusammenhangs zwischen Interesse und Lernleistung (Urhahne 2002, S. 68) erscheinen die oben genannten Überlegungen zum multiperspektivischen Lernangebot (vgl. Kap. II 3.2.3) auch von der Interessensebene her überzeugend: Zentrale inhaltliche und methodische Aspekte der Gentechnik werden mit ethischen Überlegungen verknüpft, besonders vorteilhaft erscheint eine Kopplung an therapeutische Anwendungen beim Menschen, bspw. in der Gentherapie.

Dem individuellen Interesse steht das situationale Interesse als psychischer Zustand oder andauernder Prozess während einer Lernaktivität gegenüber. Es entwickelt sich erst auf Grund besonderer Anreizbedingungen der Lernumgebung (Krapp et al. 1992, S. 8). Eine Weiterentwicklung zu individuellem Interesse ist in zwei Stufen möglich. (Krapp 2002, S. 399, vgl. Abb. 7).



**Abb. 7: Entwicklung individuellen Interesses aus situationalem Interesse (veränd. nach Krapp 2002, S. 399)**

Nach Mitchell (1993, S. 425) lassen sich in einer interesselördernden Lernumgebung zwei Arten von Faktoren identifizieren:

- „Catch“-Faktoren sprechen die Aufmerksamkeit des Schölers an und erzeugen so situationales Interesse oder aktualisieren bereits vorhandenes individuelles Interesse. Hidi (2000, S. 313) unterscheidet dies als „triggering“ und „catching interest“. Bergin (1999, S. 92 ff.) gibt hierzu allgemeine Beispiele an, die im vorliegenden Unterricht umgesetzt werden können (vgl. im Detail Kap. III 2.2):
  - Im kognitiven Bereich lassen sich die Kriterien Neuartigkeit und Erleben von Diskrepanz erfüllen: Die Lerninhalte beziehen sich zwar auf ein bekanntes Wissensgebiet der Schüler, die aktuellen Beispiele sind jedoch unbekannt. Sie können zusätzlich kognitive Konflikte auslösen (Berlyne 1974, S. 41), bspw. das transgene, grün leuchtende Kaninchen „Alba green“ (Kac 2002), und gleichzeitig die Phantasie der Schüler anregen.
  - Auf der instruktionalen Ebene sind praktische Tätigkeiten durch selbsttätiges Experimentieren interesselösend: Durch ihre Authentizität sollten Experimente im Lernort Labor hier besonders wirksam sein. Dies gilt auch personenbezogen für die besondere Lehrperson, daneben sind die sozialen Interaktionen für das situationale Interesse bedeutsam.

Speziell für den naturwissenschaftlichen Unterricht nennt Hoffmann (2002, S. 456) - abgeleitet aus ihren Untersuchungen zum situationalen Interesse im Physikunterricht - zusätzlich noch folgende Faktoren, die ebenfalls im Rahmen der Unterrichtskonzeption umsetzbar sind:

- Durch ein Beispiel wie „Alba green“ lässt sich Staunen bei den Schölern auszulösen.
- Ihr gentechnisches Vorwissen ist eine wesentliche Grundlage der unterrichtlichen Umsetzung.
- Die soziale Dimension des Themas wird im Rahmen der ethischen Komponente des Unterrichts für die Schüler fassbar gemacht: Die ethische Beurteilung gentechnischer Anwendungen z.B. beim Menschen muss soziale Beziehungen auf unterschiedlichen Ebenen innerhalb der Gesellschaft mit einbeziehen wie die von Eltern und Kindern oder Arzt und Patienten.

- Hold“-Faktoren „halten“ den Schüler anschließend „bei der Stange“. Dies geschieht nach Mitchell (1993, S. 426) dadurch, dass der Lerninhalt „will be experienced as personally meaningful“ bzw. „as moving one toward achieving a personal end“. „Hold“-Faktoren sind nach Schiefele & Köller (2001, S. 305) schwierig von extrinsisch motivierenden Zielen wie der Vorbereitung auf die nächste Klausur oder längerfristig auf das Abitur zu unterscheiden, die bei Lernhandlungen i.d.R. gleichzeitig mit verfolgt werden.

Die Stufe zu einem neu entstehenden individuellen Interesse (vgl. Abb. 7) ist nur in Einzelfällen zu erwarten (Krapp 2002, S. 400).

Aufgrund der bisherigen Überlegungen erscheint damit ein problemorientierter Experimentalunterricht im Lernort Labor bei entsprechender Umsetzung geeignet, auf der Interessensebene wirksam zu sein:

Er bietet sowohl die Möglichkeit, Interesse an gentechnischen Fragen und deren Bewertung situational zu entwickeln, als auch ein vorhandenes individuelles Interesse zu aktualisieren. Dies stellt eine Grundlage für eine entsprechende empirische Überprüfung dar.

### **III. Biologiedidaktische Grundlagen des Experimentalunterrichts im Lernort Labor**

Es folgt die didaktische Operationalisierung der bisher entwickelten theoretischen Gedanken. Es gilt, einen problemorientierten Experimentalunterricht zu zentralen molekularbiologischen Aspekten der Gentechnik zu entwickeln, im dem gleichzeitig die Authentizität des Lernorts Labor für die Schüler erfahrbar wird. Voraussetzungen dafür sind die Vorgaben bzw. Gegebenheiten des vorhandenen Schülerlabors sowie fachdidaktische und fachwissenschaftliche Überlegungen im Hinblick auf die geplanten Lerninhalte. Notwendige Implikationen für die empirische Überprüfung der Konstrukte Akzeptanz, Wissenserwerb und Interesse im Hinblick auf die unabhängigen Variablen Lernort und selbsttätige Schülerexperimente sind jeweils mit zu berücksichtigen.

#### **1. Voraussetzungen zur unterrichtlichen Umsetzung**

##### **1.1 Das Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik**

Das Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik (Abb. 8) ist ein Praktikumsraum der Universität Bayreuth, der üblicherweise der Ausbildung von Studenten dient. Als Schülerlabor wird der Raum mit Arbeitsplätzen für fünf Gruppen ausgestattet, die jeweils zwei bis vier Schülern ein experimentelles Arbeiten ermöglichen. Das gesamte Inventar gehört zum üblichen Forschungsbedarf in der Molekularbiologie, schulspezifische Lehrmittel kommen nicht zum Einsatz. Auf dieser Ebene besitzt das Labor somit ein hohes Maß an Authentizität. Alle Geräte und Materialien sind in ausreichender Zahl vorhanden, um möglichst jedem Gruppenmitglied ein selbsttätiges Experimentieren zu erlauben und eventuellen Leerlauf zu verringern.

Jeder Arbeitsplatz umfasst neben dem molekularbiologischen Labor- und Chemikalienbedarf insbesondere eine Mikrozentrifuge, einen Vortex-Mischer, eine Elektrophorese-Apparatur und insgesamt sechs variable Eppendorf-Pipetten.

Ein eigener Wägebereich wird von allen Gruppen gemeinsam benutzt. An einem weiteren zentralen Arbeitsplatz sind zwei Thermocycler für Polymerase-Kettenreaktionen, zwei Gleichspannungsquellen für die Elektrophorese, die Wasserbäder und ein Gel-Dokumentationszentrum zur Auswertung der



Versuchsergebnisse vorhanden. Die notwendige Hard- und Software steht zur Verfügung, ebenso alle modernen Möglichkeiten der Präsentation.



**Abb. 8: Das Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik der Universität Bayreuth**

Die prinzipielle Eignung und die Einsatzfähigkeit des zentralen sowie der dezentralen Arbeitsplätze wurden im Rahmen einer ersten Pilotstudie optimiert (vgl. Kap. V 2.1).

Da keine unmittelbaren Möglichkeiten zur längerfristigen Unterbringung von Schülern seitens des Laborträgers bestehen, wird eine eintägige Projektveranstaltung zur Molekularbiologie geplant, zu der Schüler bis 9.00 anreisen und die bis 16.00 Uhr wieder beendet ist. Diese Spanne gibt den zeitlichen Rahmen für den angebotenen Experimentalunterricht vor. Die Mittagspause wird mit einem Mensabesuch verbunden, die Vormittags- und Nachmittagsphase wird von je einer kürzeren Kaffeepause (15 min) unterbrochen.

## **1.2 Allgemeine didaktische Vorüberlegungen**

Hauptinhalt des Projekttages im außerschulischen Lernort ist eine Unterrichtssequenz, die den Schülern durch selbsttätiges Experimentieren die authentische Bearbeitung zentraler Fragen und molekularbiologischer Techniken aus dem Bereich der Gentechnik ermöglicht. Gleichzeitig sollte sich ausgehend vom eigenen experimentellen Handeln, eine Weiterführung zu einer Diskussion über ethische Fragen anbahnen lassen.

„Mit Unterricht sind (...) solche Situationen gemeint, in denen mit pädagogischer Absicht und in organisierter Weise innerhalb eines institutionellen Rahmens von professionell tätigen Lehrenden Lernprozesse initiiert, gefördert und erleichtert

werden“ (Reinmann-Rothmaier 2001, S. 603). Diese Bedingungen sind im Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik erfüllt, so dass berechtigterweise von Unterricht gesprochen werden kann.

Solcher Unterricht muss – genauso wie im Lernort Schule – vorbereitet werden. Auf den Begriff „Unterrichtsplanung“ wird verzichtet, da diese nur als „rein gedankliche Vorwegnahme von Unterricht“ definiert ist (Eschenhagen et al. 2003, S. 153). Die Vorbereitung umfasst zusätzlich noch organisatorische und technische Maßnahmen sowie das „Sich-Einstellen auf den Unterricht“ und „das bewußte Bemühen um eine gute Atmosphäre in einer Lerngruppe“ (Eschenhagen et al. 2003, S. 153).

Unterricht während eines Projekttags im Lernort Labor kann zwar als Ganzes dem „methodischen Grundrhythmus“ von „Einstieg, Erarbeitung und Ergebnissicherung“ (Meyer 1989, S. 121) folgen, muss aber eventuelle, experimentell bedingte Wartezeiten berücksichtigen. Innerhalb einzelner Teilschritte des Unterrichtsprozesses kann es so zur Umstellung von Lerneinheiten kommen (vgl. im Detail Kap. III 1.5).

Weitere Besonderheiten ergeben sich aus methodischen Überlegungen, die die empirische Studie betreffen. Um die Wirkung von möglichen Störvariablen – „alle Einflußgrößen auf die abhängige Variable, die in einer Untersuchung nicht erfasst werden“ (Bortz & Döring 1995, S. 14) – zu minimieren, sind bestimmte Vorgaben notwendig:

- Die Probanden sollen ein vergleichbares Vorwissen im Bereich Molekularbiologie besitzen. Molekulargenetik und Gentechnik sind ein Schwerpunkt des ersten Kurshalbjahres im Leistungskurs Biologie an bayerischen Gymnasien (vgl. StUKWK 1991, S. 1159 ff.) Durch die zeitliche Planung des Laborunterrichts nach diesem schulischen Unterricht kann dies angestrebt werden.
- Ein Bezug der Lerninhalte auf den gültigen Lehrplan (StUKWK 1991, S. 1159 ff.) sollte die Bereitschaft der Lehrer und der Schüler erhöhen, sich an der Evaluation zu beteiligen.
- Alle Probanden sollen identische Lernangebote nutzen können. Damit scheidet für den Experimentalunterricht die Form einer „differenzierte[n] Arbeitsweise“ (Kotter 1975, S. 40) aus, bei der „Schülergruppen unterschiedliche Arbeitsaufträge erhalten“ (Bader 1992, S. 308).

- Die Ergebnissicherung im Laborunterricht muss so gestaltet sein, dass eine Weitergabe von Unterrichtsinhalten von Gruppe zu Gruppe möglichst verhindert wird (vgl. im Detail Kap. III 2.2).
- Ein vergleichbarer Unterricht muss auch an der Schule durchführbar sein, um im Rahmen eines Kontrollgruppendesigns (vgl. im Detail Kap. III 2.4 u. V 6.) die beiden unabhängigen Variablen Lernort und selbsttätiges Experimentieren zu überprüfen.

### 1.3 Fachdidaktische Begründungen zur Stoffauswahl

Für die fachdidaktische Charakterisierung kann man eine didaktische Analyse (Klafki 1964, S. 9) durchführen. Darunter versteht man eine „eingehende Auseinandersetzung mit Zielen und Inhalten des Unterrichts sowie mit ihrer Begründung insbesondere im Hinblick auf ihren Bildungsgehalt“ (Killermann 1995, S. 253). Vergleichbar damit sind die Relevanzanalyse (Meisert 2004b, S. 246 ff., vgl. auch Berck 2001, S. 171) bzw. die Curriculum determinanten (Berck & Graf 2003, S. 15 f.), die die Fach-, die Schüler- und die Gesellschaftsrelevanz der Lerninhalte beschreiben.

Berck (2001, S.174) schlägt dazu vor, zunächst den wesentlichen Inhalt als fachliche Vorgabe für den Unterricht auszuwählen und fachdidaktisch zu begründen, in dem Fall also ein zentrales Thema aus dem Bereich der Gentechnologie, das sich mit wesentlichen molekularbiologischen Methoden und gleichzeitig mit ethischen Implikationen verknüpfen lässt (vgl. auch Meyer 2003, S. 257). Für eine abschließende Bewertung kann auf die von Leicht (1978, S. 157) für den Biologieunterricht modifizierte didaktische Analyse Bezug genommen werden. Dies soll im Folgenden geleistet werden.

Aufgrund der oben genannten Kriterien (vgl. Kap. III 1.2) ist der gültige Lehrplan ein wesentlicher Bezugspunkt für die Auswahl von Lerninhalten. Für den Bereich „Molekulargenetik“ werden folgende Ziele formuliert (StUKWK 1991, S. 1159):

„Die Schüler lernen die molekularen Prinzipien der Speicherung, Vervielfältigung, Verwirklichung und Veränderung genetischer Informationen kennen (...). Ausgehend von einer bildhaften Darstellung der Nukleinsäuren und ihrer Bausteine erfassen sie Grundlagen der gezielten Manipulation von Genen. Anwendungsbereiche, Zukunftsaspekte und Risiken der Gentechnologie sollen den Schülern die unabdingbare Korrelation wissenschaftlich-technischen Könnens und ethischer Verantwortung vor Augen führen“.

Tab. 4 fasst die inhaltliche Konkretisierung des Themas „Aspekte der Gentechnologie“ zusammen.

**Tab. 4: Lehrplaninhalte „Aspekte der Gentechnologie“ (StUKWK 1991, S. 1160 f.)**

Sicht des Faches	Sicht des Lehrens und Lernens
künstliche Neukombination genetischer Information bei Bakterien	Vereinfachte Darstellung des Prinzips der Gewinnung von Hybridplasmiden, der Klonierung, Analyse und Expression an einem Beispiel
Anwendungsmöglichkeiten bei Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren	Erörtern der Chancen und Risiken anhand ausgewählter Beispiele
Gendiagnostik und Eingriffe in den Genbestand beim Menschen	Eingehen auf das Humangenom-Projekt; Ausblick auf gentherapeutische Möglichkeiten und die damit verbundene Problematik

Das Lernangebot in unserem Schülerlabor sollte diese Inhalte aufgreifen. Ein weiteres, forschungsnahes und selbst angewandtes Beispiel zur „künstlichen Neukombination von genetischer Information bei Bakterien“ könnte die Lerner befähigen, ihr vorhandenes, domainenspezifisches Wissen zu aktualisieren und zu vertiefen.

Dafür bietet sich aus folgenden Gründen ein genetisches System mit dem grün fluoreszierenden Protein (GFP) aus der Meeresqualle *Aequorea victoria* MURBACH & SHEARER (1902, in der Literatur auch als *Ae. aequorea* oder *Ae. forskalea* benannt, Mills 2001, S. 64, vgl. auch Shimomura 1998, S. 6 f.) an:

- Das GFP ist momentan das „von Zellbiologen am häufigsten verwendete Protein“, um „einzelne Proteine in lebenden Zellen und Organismen“ zu markieren (Alberts et al. 2004, S. 665). Das zugrunde liegende Gen repräsentiert beispielhaft den Einsatz eines Reporter-Gens in der molekularbiologischen Forschung (vgl. z.B. Blasberg & Tjuvajev 2003, S. 1624, Spergel et al. 2001, S. 674). Mit Hilfe des GFP-Systems stehen daher authentische Fragen im Mittelpunkt des Unterrichts, die auf einen zentralen Aspekt der Gentechnologie bezogen sind. Es erfüllt somit die wesentliche inhaltliche Vorgabe für einen problemorientierten Unterricht (vgl. Kap. II 3.2.3).
- Das GFP-System entspricht zusätzlich den Kriterien, die Berck (2001, S. 54) – unter dem Bezug auf Wagenschein (1962) - für eine Themenauswahl im Biologieunterricht nach dem „Exemplarischen Prinzip“ nennt:
  - Das GFP-System ist „elementar“, da es sich auf „grundlegende Erkenntnisse“ des Faches bezieht, die zugleich Anknüpfungspunkte an das bereits

erworbene Vorwissen sind: Die Lehrplaninhalte „Bakterien als genetische Forschungsobjekte“, speziell die „Transformation“, „Nukleinsäuren als Speicher der genetischen Information“, „molekulare Wirkungsweise der Gene“, insbesondere „Bauprinzip und Bedeutung der Proteine“ und „Transkription, Translation“, sowie die „Regulation der Genaktivität“ werden aufgegriffen (StUKWK 1991, S. 1159 f.).

- Das GFP-System lässt sich im Lernort Labor im Gegensatz zur Schule „genetisch“ unterrichten, d.h. ausgehend von selbsttätigen Schülerexperimenten; die Möglichkeiten gentechnischen Arbeitens mit rekombiniertem Erbgut sind im Schulbereich i.d.R. aus Sicherheitsgründen auf Selbstklonierungen begrenzt (vgl. BUVK 2003, S. 44).
- Das GFP-System ermöglicht die direkte „Begegnung mit Phänomenen“, in dem Fall mit Bakterien, die ein Fremdgen exprimieren, als „Realobjekte[n]“ der Gentechnik. Die Übertragung des rekombinierten Erbguts als Ergebnis der Schülerexperimente ist unmittelbar erkennbar.
- Das GFP-System ist schließlich „fundamental“, da es Ergebnisse molekularbiologischer Forschung veranschaulicht, die auf den Menschen bezogen „dessen Verpflichtungen und Freiheiten in besonderem Maße deutlich werden lassen“. Ausgehend von der eigenen experimentellen Transformation der Bakterien lassen sich – einbezogen in den Projekttag – im Rahmen der ethischen Reflektionsphase Überlegungen zur Übertragung von fremdem Erbgut auf den Menschen anschließen. Speziell im Bereich der Gentechnik sieht Runtenberg (2001, S. 153) „die theoretische und praktische Vermittlung biologischer Grundkenntnisse“ als „eine Voraussetzung für eine ethische Auseinandersetzung“ an. Dabei wird Ethik als „Theorie des moralischen Urteilens, Handelns und Argumentierens“ (Schöne-Seifert 2002, S. 41).
- Das GFP-System ermöglicht aber auch „orientierende Unterrichtsphasen“ (Köhler 2004, S. 131): Aktuelle Anwendungsbeispiele aus der molekularen Zell- (z.B. Westermann & Neupert 2000) und Entwicklungsbiologie (z.B. Reiff et al. 2002) erweitern als „Orientierungswissen“ (Eschenhagen et al. 2003, S. 45) das experimentelle Exempum und ordnen es in einem forschungsnahen Umfeld ein.

- Das GFP-System lässt sich auf der methodischen Ebene mit zentralen experimentellen Schritten der Molekularbiologie verknüpfen, der Isolation von Erbgut aus Bakterien, dessen Charakterisierung mit Restriktionsenzymen und dessen Visualisierung über die Agarose-Gelelektrophorese (vgl. z.B. Weiher et al. 2004a, S. 167, bzw. 2004b, S. 175)<sup>4</sup>.

Ausgehend von der experimentellen Schülertätigkeit erscheint die Gentherapie, definiert als „introducing therapeutic genes into targeted cells to cure or slow down the progression of diseases“ (Zhou et al. 2004, S. 748), aus folgenden Gründen für die Besprechung in der ethischen Komponente des Unterrichts geeignet:

- Das Thema knüpft zum einen an das biologische Vorwissen der Schüler an (vgl. Anh. 2), zum anderen aktualisiert, wiederholt und vertieft es nach der Aussage entsprechender Lehrkräfte fächerübergreifend Lerninhalte aus dem Unterricht in Religion (kath. und ev.) bzw. Ethik. Es vermag Schüler für ethische Fragen zu sensibilisieren bzw. zu interessieren (vgl. im Detail Anh. 3: Ergebnisse einer Befragung im Rahmen einer Lehrerfortbildung).
- Der Bereich Gentherapie erfüllt das didaktische Kriterium, das Runtenberg (2001, S. 154) nennt, um zu einer reflektierten ethische Entscheidung zu kommen: „Alle drei Dimensionen der moralischen Kritik [sind] zu berücksichtigen“:
  - Die erste Dimension bezieht sich auf die „Ziele der Handlung“, also die Behandlung erblich bedingter, nicht heilbarer Krankheiten. Ein adressatengerechtes Beispiel liefern monogene Formen der Fischschuppenhaut, z.B. ichtyosis-X (vgl. Valdes-Flores et al. 2000). Diese Krankheit ist den Schülern i.d.R. unbekannt und kann bei ihnen über entsprechende Veranschaulichung Betroffenheit und Fürsorge auslösen, beides wirkt sich nach Hößle (2001, S. 41) positiv für eine differenzierte Beurteilung aus.
  - Die zweite Dimension fragt nach dem „Einsatz der Gentechnik als Mittel innerhalb der verschiedenen Einsatzbereiche“, sie wird erfüllt im Vergleich von somatischer und Keimbahntherapie (vgl. z.B. Winnacker et al. 2002, S. 26 ff.).

---

<sup>4</sup> Ein vergleichbar geeignetes Beispiel für ein weiteres experimentelles Modul stellt das Thema „Genetischer Fingerabdruck“ dar. Da dieses Modul im Rahmen der vorgestellten Studie nur eine sehr untergeordnete Rolle spielt, wird es im Anh. 4 nur kurz zusammenfassend vorgestellt.

- Die dritte Dimension betrifft die „möglichen Folgen der Handlung“. Die somatische Gentherapie bei der erblichen, tödlichen Immunschwäche SCID-X1 (Severe Combined Immunodeficiency Disease X1, Cavazzana-Calvo et al. 2000) und die vektorabhängigen Probleme, die dabei aufgetreten sind ermöglichen die Besprechung einer ethischen Dilemma-Situation, die Dulitz & Kattmann (1990, S. 18) als wesentlichen Ausgangspunkt für ethische Reflektionen im Unterricht ansehen: Eltern und/oder Ärzte stehen vor der Situation, den Nutzen der gentherapeutischen Behandlung gegen das Risiko einer Tumorinduktion abwägen zu müssen (vgl. im Detail Kap. III 1.4.2.2).
- Am Beispiel der Gentherapie lassen sich unterschiedliche Ebenen ethischer Begründungen verdeutlichen: „Für die moralische Beurteilung ist es (...) wesentlich, zwischen Gentherapie in Körperzellen (somatisch) und Zellen der Keimbahn (...) zu unterscheiden“ (Zülicke, 1994, S. 37). Die somatische Gentherapie lässt sich „grundsätzlich in der Art der Behandlung nicht von anderen ‚konventionellen‘ Therapieformen“ abtrennen (Winnacker et al. 2002, S. 35). Ihre Anwendung wird daher konsequentialistisch (im Hinblick auf mögliche Folgen) bewertet, wie es den Schülern in der genannten Dilemma-Situation bei der Behandlung von SCID-X1 verdeutlicht werden kann. Gentherapeutische Eingriffe in die Keimbahn oder schon die zugrunde liegende verbrauchende Embryonenforschung sind demgegenüber nach geltendem Recht in Deutschland – Embryonenschutzgesetz, § 5 (EschG 1990) – verboten. Für Eser (1994, S. 132) ist die dazu notwendige Erzeugung menschlichen Lebens eine „Missachtung der Menschenwürde“ des Embryos, ein Beispiel für eine kategoriale ethische Begründung. Gerade in der Analyse und Diskussion ethisch unterschiedlicher Argumentationslinien sieht Bayrhuber (2000, S. 109) eine Möglichkeit, einer Indoktrination vorzubeugen und Schülern eine persönliche Entscheidungshilfe zu geben (vgl. auch Meisert 2004a, S. 233).
- Speziell bei der Besprechung der somatischen Gentherapie ist es möglich, den Schülern den Unterschied zwischen dem prinzipiell empirisch-naturwissenschaftlich feststellbaren Risiko und dessen ethischer Bewertung aufzuzeigen. Erst „die Trennung empirischer Tatsachenaussagen und normativer Aussagen (...) ermöglicht eine fundierte Klärung der Fakten einerseits und eine gezielte normative Analyse andererseits“ (Meisert 2004a, S. 232).

Zusammenfassend betrachtet erschließen das GFP-System als fachlicher Inhalt und die Gentherapie als abgeleiteter ethischer Bezugspunkt für die Schüler allgemeine Sinn- und Sachzusammenhänge im Sinne einer Exemplarizität (Klafki 1964, S. 15, vgl. auch Berck & Graf 2003, S. 18). Beide Lerninhalte erfüllen somit die erste der vier Anforderungen, die Leicht (1978, S. 157) im Rahmen der didaktischen Analyse an die Stoffauswahl für den Biologieunterricht stellt. Entsprechendes gilt auch für die zweite Forderung Leichts in Anlehnung an Klafki: Beide Themen sind gegenwärtig und zukünftig für das „geistige Leben“ der Schüler von Bedeutung (Leicht 1978, S. 157). Sie greifen vorhandenes Wissen aus dem Unterricht auf und ergänzen es in umfassender Weise; dabei werden Fachgrenzen überschritten und somit einem ‚Schubladen-Denken‘ entgegengewirkt. Die „Querbezüge“ insbesondere „zur Chemie und Physik helfen den Schülern die Welt aus der Sicht der Naturwissenschaften zu verstehen“ (StUKWK, S. 173). Insgesamt sind beide Lerninhalte als „herausgehobene Themen“ zu einzuschätzen, die den Schülern „den inneren Zusammenhang der [beteiligten] Unterrichtsfächer“ verdeutlichen und „über den Unterricht hinausweisende Denkanstöße vermitteln“ (StUKWK 1990, S. 137 f.). Speziell die ethische Reflektion des experimentellen Handelns zeigt den Schülern „die unabdingbare Korrelation wissenschaftlich-technischen Könnens und ethischer Verantwortung“ (StUKWK, S. 1159) und entspricht der Vorgabe des Lehrplans im Hinblick auf das langfristig angelegte Bildungsziel, „sich auf geistige und ethische Herausforderungen einzulassen (StUKWK 1990, S. 134).

Die dritte und die vierte der Anforderungen Leichts (1978, S. 157) an die didaktische Analyse stellen die beiden folgenden Fragen dar:

- Wie ist die fachliche Struktur des Lerninhalts?
- Wie ist der Lerninhalt den Schülern zugänglich zu machen?

Ihnen soll im Folgenden über die fachliche Charakterisierung (Kap. III 1.4) sowie den Überlegungen zur Auswahl von Experimenten für den Unterricht (Kap. III 1.5) und weiteren methodischen Aspekten im Rahmen der unterrichtlichen Umsetzung (Kap. 2.2) entsprochen werden.



## 1.4 Fachliche Charakterisierung der Unterrichtsinhalte

Folgende Vorgehensweise bietet sich an: Zunächst wird das GFP-System auf den Ebenen des Proteins, der zugrundeliegenden Genetik und der molekularbiologischen Anwendungen analysiert. Anschließend werden die beiden für die ethische Reflektion ausgewählten Erbkrankheiten vorgestellt und die unterschiedlichen Ansätze der Gentherapie erläutert.

### 1.4.1 Das GFP-System

#### 1.4.1.1 Das grün fluoreszierende Protein GFP

Das grün fluoreszierende Protein aus der Meeresqualle *Aequorea victoria* (Abb. 9) ist „one of the most useful cell-biological tools to have been introduced in the past decade“ (Tromans 2004, S. 865).

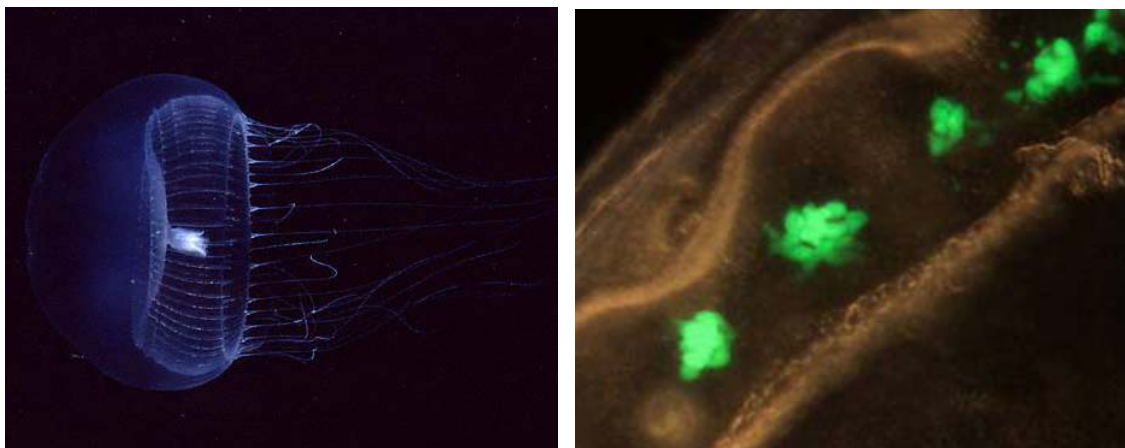


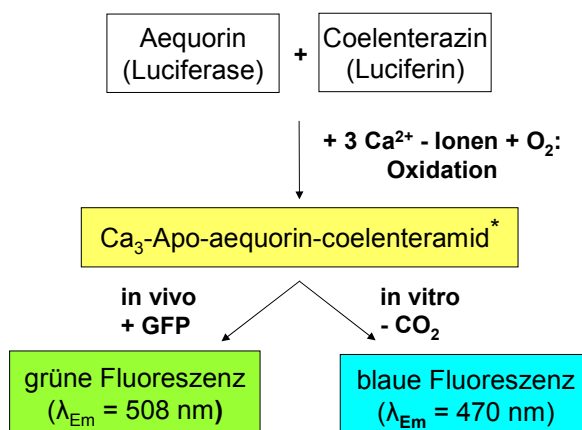
Abb. 9: *Aequorea victoria* und deren GFP-Fluoreszenz am unteren Schirmrand (mit freundlicher Genehmigung von S. Haddock<sup>5</sup>)

Seit den frühen 60er Jahren wurden jährlich bis zu 150000 dieser Medusen an der nördlichen Pazifikküste der USA und Kanadas gesammelt (Mills 2001, S. 64), um das GFP aus den Tieren zu isolieren. Die Quallen emittieren ein grünes Fluoreszenzlicht ( $\lambda_{Em} = 508 \text{ nm}$  (Johnson et al. 1962, S. 101)) am unteren Schirmrand (vgl. Abb. 9 re.). Die ringförmig angeordneten Lichtorgane enthalten ca. 120 Granae (Shimomura 1998, S. 3) mit etwa 6500 spezialisierten Photozyten (Davenport & Nicol 1955, S. 408). Die biologische Bedeutung des Leuchtens ist nicht bekannt. Die Quallen blitzen sich weder gegenseitig an, noch leuchten sie kontinuierlich, „Auto-Biolumineszenz“ ist extrem selten zu beobachten (Mills 2004,

<sup>5</sup> Quelle: <http://www.lifesci.ucsb.edu/~biolum/organism/photo.html>

S. 3). Mechanische (Mills 2004, S.4) oder chemische Reizungen (Shimomura 1998, S. 3) sowie UV-Bestrahlung bzw. elektrische Stimulationen (Davenport & Nicol 1955, S. 400 f.) induzieren das Fluoreszieren. Vergleichbare, GFP-ähnliche Proteine existieren in Riff-Korallen, deren adaptive Bedeutung ebenfalls nicht geklärt ist. Labas et al. (2002, S. 4259) vermuten in ihrem Überblick unterschiedliche Funktionen in Abhängigkeit von den verschiedenen Farben. Sie weisen gleichzeitig darauf hin, dass die Farbstoff-Proteine auch das Ergebnis einer Akkumulation von zufallsbedingten Mutationen sein könnten.

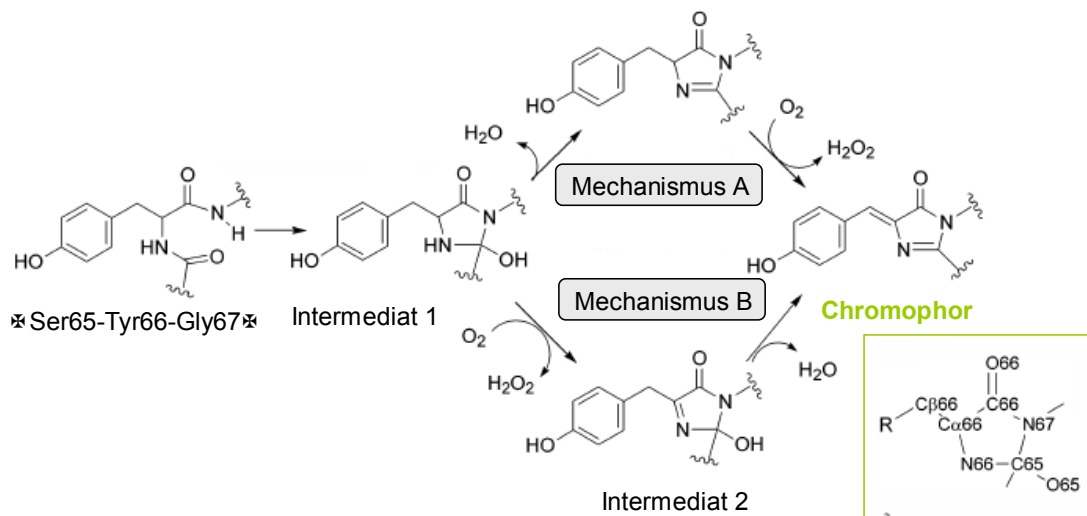
Das GFP wurde 1962 als Begleitprotein des blau fluoreszierenden Aequorins (Shimomura et al., 1962, S. 228) entdeckt. Dieses Enzym ist die Grundlage des Leuchtens von *Aequorea victoria* (vgl. Zimmer 2002, S. 760). Abb. 10 fasst die Verhältnisse zusammen.



**Abb. 10: Biolumineszenz bei *Aequorea victoria* (\* angeregter Zustand, Details im Text, verändert nach Zimmer 2002, S. 760, vgl. Inouye & Tsuji 1994, S. 277)**

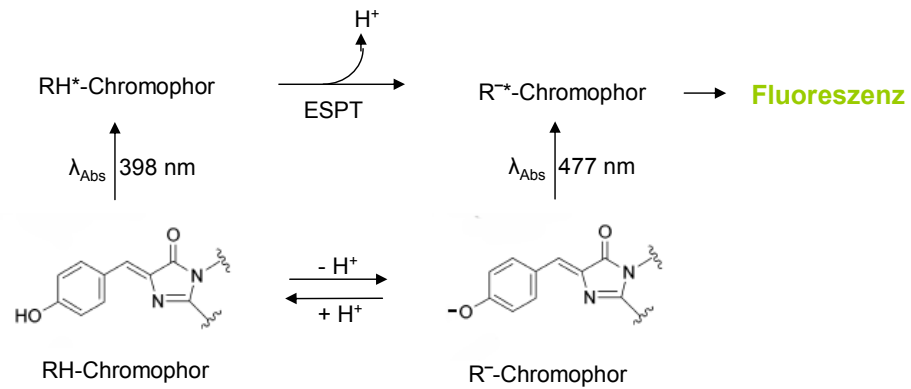
Nach der Bindung von 3 Calcium-Ionen oxidiert Aequorin mit proteingebundenem Sauerstoff das Substrat Coelenterazin. In Anwesenheit von GFP – vermutlich in einer heterotetrameren Einheit GFP<sub>2</sub>/Aequorin<sub>2</sub> (Cutler & Ward 1997, S. 405) - wird über einen strahlungslosen Energieübergang die grüne Fluoreszenz des GFP induziert. In vitro – ohne GFP – tritt unter Abgabe von Kohlendioxid das blaue Fluoreszieren des Aequorins auf.

Die Bildung des notwendigen Chromophors im GFP „is a highly unusual post-translational modification that spontaneously follows protein folding and requires molecular oxygen (Rosenow et al. 2004, S. 4464). Der Farbträger entsteht durch eine autokatalytische Ringbildung der Aminosäuren Ser65, Tyr66 und Gly67 (Cody et al. 1993, S. 1217, Heim et al. 1994, S. 12502) innerhalb des Protein-„Rückgrats“ („backbone“) aus 238 Aminosäuren (Prasher et al. 1992, S. 231). Die exakte Abfolge der beiden folgenden Teilschritte, der sauerstoffabhängigen Oxidation bzw. der Wasserabspaltung, ist noch nicht endgültig geklärt (vgl. Abb. 11).



**Abb. 11: Mögliche Mechanismen der Chromophorenbildung (veränd. nach Rosenow et al. 2004, S. 4465)**

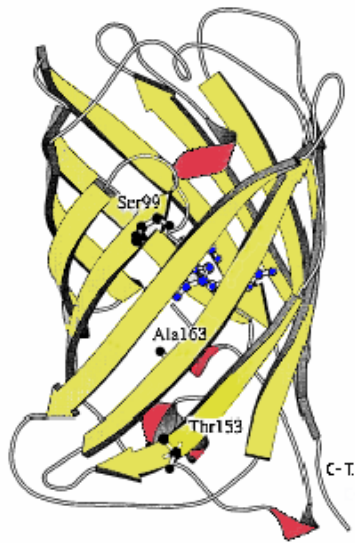
Der phenolische Sauerstoff an der Tyr66-Seitenkette des Chromophors kann als  $\text{RH}$  (protoniert) oder  $\text{R}^-$ -Chromophor (deprotoniert) vorliegen; diese stehen miteinander im chemischen Gleichgewicht (vgl. Abb. 12). Nur der angeregte geladene Zustand emittiert grünes Licht. Der angeregte, ungeladene Chromophor  $\text{RH}^*$  wandelt sich durch eine Deprotonierung (Excited State Proton Transfer – Vorgang: ESPT) in den fluoreszierenden Zustand um (Wiehler 2001, S. 6 f.).



**Abb. 12: Grundlage der Fluoreszenz des GFP-Chromophors (Details im Text)**

Der Chromophor fluoresziert nur innerhalb des nativen Proteins (Ward et al. 1980, S. 613). Die exakte Tertiärstruktur ist entscheidend, um den Farbträger vor molekularem Sauerstoff bzw. vor Oxonium-Ionen zu schützen (Zimmer 2002, S. 761). Dies wird durch eine einzigartige Proteinstruktur gewährleistet, die für das ursprüngliche (wt) GFP (Yang et al. 1996) sowie für verschiedene Mutanten (vgl. z.B. Ormö et al. 1996) aufgeklärt worden ist. Voraussetzungen dafür waren zum einen die Klonierung des zugrunde liegenden Gens (Prasher et al. 1992) und zum anderen der Nachweis der transgenen Expression des Proteins in Bakterien (Inouye & Tsuji 1994) bzw. in Eukaryonten (Chalfie et al. 1994); somit wurde die autokatalytische Bildung des Chromophors bestätigt.

Alle GFP-Proteine besitzen eine von Yang et al. (1996) als „ $\beta$ -can“ definierte Struktur, einen fast perfekten Zylinder aus 11  $\beta$ -Faltblättern ( $\emptyset$  ca. 30 Å, Länge ca. 40 Å), der von kurzen  $\alpha$ -Helices bzw. Loops bedeckt ist. Der Chromophor liegt als Teil einer deformierten Helix im Innern des Proteins, einbezogen in ein Netz von Wasserstoffbrücken-Bindungen zu polaren Seitenketten bzw. festgelegten Wassermolekülen (Battistutta et al. 2000, S. 433).



**Abb. 13: Tertiärstruktur des c3-GFP:  $\beta$ -Faltblätter sind gelb,  $\alpha$ -Helices rot, die drei mutierten Aminosäuren sind als schwarze Kugelmodelle hervorgehoben, der Chromophor liegt als blaues Kugelmodell im Innern der „ $\beta$ -can“-Struktur, das C-terminale Ende ist sichtbar (C-T.), das N-terminale Ende liegt vor dem Beginn der  $\alpha$ -Helix am Boden des Zylinders (hinter dem Faltblatt mit dem mutierten Thr153, verändert. nach Battistutta et al. 2000, S. 432)**

Dieselbe Raumstruktur gilt auch für die Variante c3-GFP (vgl. Abb. 13), die Mutante F99S/M153T/V163A<sup>6</sup> (Battistutta et al. 2000, auch als cycle 3 GFP,  $\alpha$ -GFP oder GFPuv bezeichnet, vgl. Palm & Wlodawer 1999, S. 386). Sie besitzt gegenüber dem Wildtyp eine 42fach stärkere Fluoreszenz (Cramer et al. 1996), die nach Battistutta et al. (2000, S. 436) auf einen veränderten Faltungsprozess des Proteins zurückzuführen ist. Damit wird der Anteil an löslichen und somit fluoreszierenden Proteinen in der Zelle erhöht, während beim wt-GFP ein Großteil der Proteine inaktiv in intrazellulären Vesikeln eingeschlossen ist (Cormack et al. 1996, S. 35). Dieses mutierte Protein wird für die unterrichtliche Umsetzung ausgewählt (vgl. Kap. III 1.4.1.2 und 1.5).

<sup>6</sup> Mutationen: Phe99 zu Ser, Met153 zu Thr und Val163 zu Ala

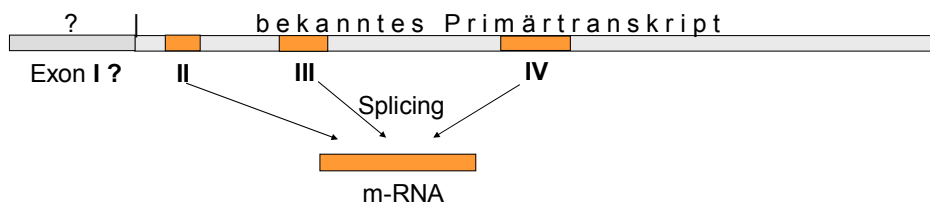
### 1.4.1.2 Genetische Aspekte

Bisher sind sechs DNA-Sequenzen aus *Aequorea victoria* bekannt, die für ein grün fluoreszierendes Protein codieren (Tab. 5).

**Tab. 5: Bekannte GFP-codierende DNA-Sequenzen aus *Aequorea victoria* (ORF: open reading frame, d.h. reine proteincodierende Sequenz, n.b. nicht bekannt)**

Locus	Quelle	Länge (bp)	Sequenz	GenBank-Accession-Nr. (Benson et al. 2004)	Referenz
AEVGFPB	genomische DNA	5170	m-RNA Primärtranskript	M62653	Prasher et al 1992
AEVGFP A	c-DNA	966	m-RNA	M62653	Prasher et al 1992
AEVGFP	c-DNA	922	m-RNA	L29345	Inouye & Tsuji 1994
AVGFP1	c-DNA	714	m-RNA : ORF	X83959	Watkins & Campell 1995 <sup>7</sup>
AVGFP2	c-DNA	714	m-RNA : ORF	X83960	Watkins & Campell 1995 <sup>8</sup>
n.b.	c-DNA	717	m-RNA, ORF mit Stopp-Codon	E17099	Kono et al. 1999 <sup>9</sup>

Die einzige bekannte genomische Sequenz weist drei Exon- und drei Intron-Sequenzen auf, ein viertes, bisher nicht isoliertes Exon liegt vermutlich vor dem 5'-Ende der Sequenz und codiert für den Beginn des nicht translatierten Bereichs der nativen m-RNA (Prasher et al. 1992, vgl. Abb. 14).



**Abb. 14: Struktur des genomischen GFP-Gens (AEVGFPB (*gfp2*), Prasher et al 1992) in *Aequorea victoria* (1 cm = 500 bp)**

Diese und die vier folgenden Sequenzen codieren für fünf Isoformen des GFP. Sie unterscheiden sich durch konservative Aminosäureaustausche, die sich nicht auf die physikalischen Eigenschaften auswirken (Tsien & Prasher 1998, S. 98 f.). Die sechste Sequenz variiert nach eigenen Vergleichen (vgl. Anh. 5) nur in der Base 240 im Vergleich zur Variante AEVGFPA; dies bedingt die konservative Veränderung

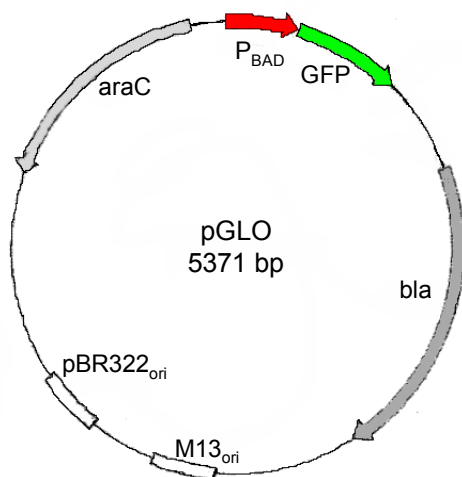
<sup>7</sup> Direkte Eingabe in GenBank, ansonsten nicht publiziert.

<sup>8</sup> Direkte Eingabe in GenBank, ansonsten nicht publiziert.

<sup>9</sup> Direkte Eingabe in GenBank, ansonsten nur als Patent JP 1998234382-A 1 08-SEP-1998 in Japan angemeldet.

Q80R<sup>10</sup>, die als neutrale Mutation im Zusammenhang mit synthetisch modifizierten Mutanten weit verbreitet ist (Tsien & Prasher 1998, S. 114) und dort auf einen Fehler bei der ersten Klonierung des GFP zur transgenen Expression zurückgeht (Chalfie et al. 1994, S. 804).

In Unterricht wird die synthetisch gewonnene Variante c3-GFP, die Mutante F99S/M153T/V163A, eingesetzt (Cramer et al. 1996, vgl. zur Tertiärstruktur Abb. 13). Deren Proteinsequenz unterscheidet sich von der natürlichen Isoform AEVGFPA zusätzlich noch durch die erwähnte Mutation Q80R und eine 239. Aminosäure. Hinter dem Start-Methionin wird ein Alanin-Molekül eingebaut (vgl. Anh. 6). Auf der DNA-Ebene unterscheiden sich die Gene durch verschiedene stille („silent“) Mutationen, die zum einen Schnittstellen für Restriktionsenzyme bereitstellen, zum anderen eine bessere Codonnutzung bei der bakteriellen Expression bedingen (vgl. im Detail Anh. 7 und Cramer et al. 1996, S. 317 f.). Einkloniert ist das c3-GFP-Gen in das Expressionsplasmid pGLO (kommerziell verfügbar, Bio-Rad Laboratories o.J. u. 2002, Abb. 15), das bis auf zwei Basen im Bereich des Replikationsorigins von pBR322 mit dem Vektor pBAD-GFPuv (Cramer et al. 1996) identisch ist (vgl. im Detail Anh. 8).



**Abb. 15: Aufbau des Expressionsplasmids pGLO (Details im Text)**

<sup>10</sup> Mutation: Glu80 zu Arg.

Das GFP-Gen steht, wie alle Fremdgene in pBAD-Vektoren, unter der Kontrolle araC-Gens und des  $P_{BAD}$ -Promotors aus dem Arabinose-Operon von *Escherichia coli* (Guzman et al. 1995). Das AraC-Protein (NCBI-Accession-Nr. AAC53662) vermittelt sowohl eine positive als auch eine negative Transkriptionskontrolle (Lobell & Schleif 1990). Mit gebundenem Induktor L-Arabinose ermöglicht das AraC-Protein die Transkription des  $P_{BAD}$ -Promotors, in dessen Abwesenheit findet nur eine sehr geringe Transkription und Expression der araBAD-Strukturgene statt (Lee 1978, S. 392). Die Transkriptionsrate wird in Anwesenheit von Glucose über eine Katabolite-Repression noch weiter reduziert: Glucose erniedrigt die intrazelluläre Konzentration von cyclischem AMP und damit die Anzahl gebundener cAMP-CAP-Komplexe (catabolite gene activator protein) (Lee et al 1981, S. 752). Die einzelnen Aspekte der komplexen Regulation und der Interaktionen zwischen den beiden Domänen des AraC-Proteins (Bustos & Schleif 1993) und den beteiligten regulatorischen DNA-Abschnitten sollen hier nicht weiter erörtert werden (zur Übersicht vgl. Schleif 1992, S. 211 ff., Soisson et al. 1997, Timmes et al. 2004). Guzman et al. (1995, S. 4128) nennen als wesentliche Vorteile der pBAD-Expressionsvektoren zum einen die sehr niedrige Hintergrundaktivität ohne Induktor, zum anderen die gute Regulierbarkeit der Expression über die zugegebene Induktorkonzentration. Dies trifft auch für den Vektor pBAD-GFPuv mit GFP als induzierbarem Protein (Cramer et al. 1996) bzw. für das im Unterricht eingesetzte pGLO zu. Neben dem notwendigen Start zur Replikation (ori aus dem Plasmid pBR322) – der M13-Origin ist nur aus historischen Gründen noch vorhanden - ist als Selektionsmarker für die Transformation das bla-Gen (GenBank-Accession-Nr. AAC53664) vorhanden, das für eine weit verbreitete Betalactamase (TEM-Precursor, EC 3.5.2.6) codiert (vgl. Anh. 9).

#### **1.4.1.3 Molekularbiologische Anwendungen**

„In the last 10 years green fluorescent protein (GFP) has changed from a nearly unknown protein to a commonly used tool in molecular biology, medicine, and cell biology “ (Zimmer 2002, S. 759). Yu et al. (2003, S. 1 ff.) fassen wesentliche Gründe für GFP als einen „ideal candidate for use as a dynamic *in vivo* reporter“ zusammen:

- Die Energie zum Auslösen der GFP-Fluoreszenz wird allein durch externe Bestrahlung zugeführt, es ist kein exogenes oder endogenes Cosubstrat notwendig. Deshalb können sowohl sein Auftreten als seine Bewegungen in Zellen in Echtzeit ohne zusätzliche Fixierung oder Färbung beobachtet werden.



- GFP ist relativ stabiles Protein ( $T_M = 76 \text{ }^\circ\text{C}$ , d.h. bei dieser Temperatur ist die Fluoreszenz auf 50 % abgesunken (Ward 1998, S. 51)). Es bleibt bis zu 24 h in Zellen wirksam.
- Es sind außerhalb der Coelenteraten (Hydrozoen bzw. Anthozoen, vgl. Tsien 1998, S. 511, und Labas et al. 2002) bisher keine GFP-homologen Proteine bekannt (Matz et al. 2002, S. 957).
- Es sind zahlreiche spektrale Mutanten des wt-GFP erzeugt und beschrieben worden (vgl. Tsien & Prasher 1998, Palm & Wlodawer 1999). Diese entwickeln eine höhere Fluoreszenzintensität und/oder zeigen veränderte Stabilitäten bei erhöhten Temperaturen (vgl. z.B. Scholz et al. 2000). Varianten mit speziellen Eigenschaften sind das cyclische GFP (Iwai et al. 2001) oder das redoxensitive GFP (Hanson et al. 2004).
- Es lassen sich über die Insertion der cGFP-DNA in ein Protein-Gen (oder v.v.) sowohl N- als auch C-terminale Fusionsproteine herstellen, die teilweise mit kurzen Peptidlinkern verknüpft sind. Solche Konstrukte erweisen sich zum einen bei moderaten Konzentrationen als nicht toxisch, zum anderen beeinträchtigt das angekoppelte GFP die Struktur und/oder die Funktion des Targetproteins i.d.R. nicht. Dies lässt sich durch Rescue-Experimente des Nullphänotyps mit Hilfe des GFP-verknüpften Zielproteins überprüfen.
- GFP-Gene oder entsprechende Fusionsgene lassen sich auf vielfältige Weise in Zellen oder Organismen übertragen. Beispielhaft seien genannt: Elektroporation oder Injektion von entsprechend rekombinierten Plasmiden, Transduktion über Adenoviren, Übertragung über Retrovireninfektionen, m-RNA-Injektion oder Übertragung bereits transformierter Zellen. Für den unterrichtlichen Einsatz bietet sich die Transformation in Bakterien an.
- Sowohl ein stabiles, transgenes GFP-Gen als auch entsprechende Gene fusionierter GFP-Konstrukte werden über die Keimbahn nach den Mendelschen Gesetzen weitervererbt.

Die heutigen Anwendungsbereiche des GFP sind vielfältig.

Beispielhaft seien für die Analyse von Entwicklungs- und/oder Differenzierungsvorgängen genannt (Yu et al. 2003):

- Markierung von Geweben oder Einzelzellen und Beobachtung von Zellbewegungen und/oder –differenzierungen, speziell während der Embryonalentwicklung: Mit Hilfe stark fluoreszierender Mutanten ist auch die Beobachtung einzelner Zellen oder von zellulären Subpopulationen innerhalb eines Gewebes möglich.
- Analyse der Promotoraktivierung einzelner Gene: DNA-Fragmente, die 5' oder 3' vom interessierenden Gen liegen, werden mit der cGFP-DNA oder einem entsprechenden Fusionskonstrukt verknüpft und in einen Embryo oder eine Blastomere übertragen. Dies ermöglicht die Identifikation von Regulatorregionen für räumliche und/oder zeitliche Genexpressionsmuster. Wird das GFP-Transgen in eine Operonstruktur eingebaut, ist auch eine induzierbare Expression über externe Induktoren möglich, wie sie im Rahmen der unterrichtlichen Umsetzung am Beispiel des Arabinose-Operons eingesetzt wird (vgl. Kap. III 1.5).
- Untersuchung von Proteinfunktionen: Sowohl auf subzellulärer, zellulärer oder Gewebeebene können Transportvorgänge, Aggregationseffekte, Expressionsdauer und Wirkungen von Über- oder Unterexpression markierter Proteine visualisiert werden.
- Isolation und Anreicherung GFP-markierter Zellen für *in vitro* – Studien.
- Verifizierung der Transplantation von Donor-Kernen in entkernte Eizellen: GFP dient als Reporter für ein übertragenes Transgen und weist über die Stärke der Fluoreszenz auf Homo- oder Heterozygotie hin.
- Kopplung an zelluläre Makromoleküle: GFP-markierte m-RNA ermöglicht es, Translokationen dieser Botenmoleküle sichtbar zu machen, GFP-Antikörper-Konstrukte zeigen Genexpressionsprofile der entsprechenden antigenen Proteine auf. Über Fluoreszenz-Resonanz-Energie-Transfer-Experimente (FRET) lassen sich Protein-Protein-Wechselwirkungen im Bereich von unter 60 Å nachweisen (Phizicky et al. 2003, S. 213).
- Spezifische Inhibition von GFP-Fusionsgenen über doppelsträngige RNA-Moleküle mit GFP-Sequenzen.

Zhang et al. (2004) weisen auf eine derzeitige Grenze der Anwendbarkeit hin: Die Expression von GFP und/oder GFP-Konstrukten ist limitiert durch die Spezifität der verfügbaren Promotoren. Zellspezifische Genexpression kann aber auf der gemeinsamen Wirkung verschiedener Regulatorelemente beruhen und individuelle Zelltypen lassen sich i.d.R. nicht über eine regulatorische DNA-Sequenz identifizieren. Einen entsprechenden Ansatzpunkt bietet rekonstituiertes GFP (recGFP). Es fluoresziert in einer Zielzelle erst, wenn seine beiden Teilpeptide koexprimiert und anschließend zusammengesetzt worden sind; damit ist die Wirkung zweier unterschiedlicher Promotoren fassbar.

## **1.4.2 Ethische Reflektionsphase**

### **1.4.2.1 Ausgewählte monogene Erbkrankheiten**

Im Rahmen der fachdidaktischen Begründung sind zwei monogene Erbkrankheiten für die unterrichtliche Behandlung ausgewählt worden, die Ichtyosis-X, eine Variante der Fischeschuppenhaut, und die erbliche, tödliche Immunschwäche SCID-X1 (Severe Combined Immunodeficiency Disease X1. Sie sollen im Folgenden kurz fachlich charakterisiert werden.

- **Ichtyosis-X:**

Die x-chromosomal rezessiv vererbte Form der Fischeschuppenhaut ist mit einem Auftreten bei einer von 2000 bis 6000 männlichen Geburten (Lykkesfeldt et al. 1984, S. 49, Hernandez-Martin 1999, S. 617) eine relativ häufige Erbkrankheit. Die klinischen Symptome sind große, polygonale, dunkelbraune Hautschuppen, vor allem an den Streckmuskeln der Extremitäten; häufig sind auch undurchsichtige Bereiche in der Hornhaut oder gonadale Veränderungen, bspw. Kryptorchidismus, d.h. die Hoden verbleiben in der Unterbauchhöhle. Grundlage der abnormalen Schuppung ist das Fehlen des Enzyms Steroid-Sulfatase (STS EC 3.1.6.2), wobei der exakte physiologische Mechanismus für die phänotypischen Effekte ungeklärt ist (Hernandez-Martin et al. 1999, S. 617 ff.). In 85 - 90% der Fälle liegen vollständige, ansonsten partielle Deletionen des STS-Gens vor, einzelne Fälle von Punktmutationen sind bekannt (Valdes-Flores et al. 2000, S. 591).

- Erbliche, tödliche Immunschwäche SCID-X1:

Die rezessiv X-chromosomal vererbte Form ist mit ca. 50 bis 60 % geschätztem Anteil (Gaspar et al. 2003, S. 1999) die häufigste Variante der erblichen Immunschwächen. Die genetische Grundlage sind i.d.R. Missense-Mutationen in der  $\gamma_c$ -Untereinheit der Rezeptoren für verschiedene Interleukine (Cavazzana-Calvo et al. 2000, S. 669), insbesondere für den T-Zell-Wachstumsfaktor Interleukin 2 (Cacalano & Johnston 1999, S. 288 f.) Betroffenen Kindern fehlen periphere T- und „natural killer“-Zellen. B-Zellen sind zwar vorhanden, reifen aber aufgrund der fehlenden  $T_{\text{Helfer}}$ -Aktivität nicht zu antikörperproduzierenden Zellen heran ( $T/B^+/NK^-$ -Phänotyp). Hitzig & Willi (1961, S. 1631) fassen das klinische Bild wie folgt zusammen:

- „Beginn im frühen Säuglingsalter (1. – 6. Monat),
- therapieresistente Diarrhöe → schwere Dystrophy,
- pertussoider Husten,
- hartnäckiger Soorbefall (Schleimhäute und Haut),
- morbilliformes Exanthem,
- maligner Verlauf: Exitus mit 3 bis 20 Monaten“.

Eine Behandlung durch allogene Knochenmarkstransplantation ist prinzipiell möglich, aber eingeschränkt durch Notwendigkeit eines geeigneten Spenders und durch die signifikante höhere Erkrankungs- bzw. Sterblichkeitsrate, die mit solchen Transplantationen bei Kindern verbunden ist (Emery 2004, S. 418).

#### 1.4.2.2 Genterapeutische Ansätze

Die Behandlung einer Krankheit durch Übertragung genetischer Information in Zellen bzw. Gewebe eines Patienten hat zum Ziel, die Wirkungen eines fehlerhaften oder fehlenden Gens zu kompensieren oder eine neue, veränderte Genfunktion zu ermöglichen (Emery 2004, S. 411 f.). Grundsätzlich sind dabei die Keimbahn- und die somatische Genterapie zu unterscheiden.

Winnacker et al. (2002, S. 40 f.) verstehen unter der Keimbahntherapie „alle Verfahren, die einer permanenten Veränderung des Erbguts von Keimzellen oder ihrer Vorläufer dienen und in therapeutischer Absicht erfolgen“. Damit wird „die genetische Veränderung der Keimbahn an die Nachkommen vererbt“. Das gewünschte Ergebnis ist die Eliminierung einer Erbkrankheit (Stribley et al. 2002, S. 646) und damit abgegrenzt von „nicht-therapeutischen Eingriffe[n] in die menschliche

Keimbahn (Enhancement-Eingriffe) (...) in verbessernder Absicht“ (Winnacker et al. 2002, S. 40 f.) Allerdings weisen Winnacker et al. (2002, S. 52) darauf hin, dass die Keimbahntherapie aus ethischen Gründen „nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft (...) nicht als gangbarer Weg ärztlichen Handelns angesehen werden“ kann. Demzufolge haben die internationalen ethischen Debatten der letzten drei Jahrzehnte zu nationalen Regelungen geführt, „which (...) have forbidden deliberate alterations to the human germ line (Spink & Geddes 2004, S. 1611). Allerdings befürwortet eine Mehrheit der „American Society of Human Genetics“ prinzipiell die Keimbahntherapie, erkennt aber an, dass nicht vorhersehbare, negative Folgen gegenwärtig einen Einsatz beim Menschen ausschließen; auch eine mögliche Auswahl von Erbkrankheiten für die Erforschung dieses Ansatzes ist umstritten (Rabino 2004, S. 31). Resnik & Langer (2004, S. 1449) lehnen den Begriff „human germline gene therapy“ an sich ab, da sie keine klare Unterscheidung zwischen „therapy, prevention, and enhancement“ sehen. Sie schlagen deshalb den Begriff „human germline genome modification“ vor.

Die somatische Gentherapie ist definiert als „manipulation of gene expression only in cells that will be corrective to the patient but not inherited to the next generation (Emery 2004, S. 412). Sie ist beschränkt auf die Behandlung schwerer, i.d.R. lebensbedrohender Krankheiten (Spink & Geddes 2004, S. 1611) und befindet sich „im experimentellem Stadium“ von „streng begrenzten klinischen Studien“ (Winnacker et al. 2002, S. 29). Entsprechende Zusammenfassungen von fast 1000 Studien sind in Datenbanken verfügbar (z.B. NIH Genetic Modification Clinical Research Information System 2004 (Mitch 2004), Journal of Gene Medicine 2005). Stribley et al. (2002, S. 647) unterscheiden zwei grundsätzliche Strategien der somatischen Gentherapie:

- Cytotoxische oder „suicide“ - Gentherapie: In den Zielzellen, bspw. in malignen Tumoren, soll durch das übertragene Gen die Produktion eines toxischen Stoffes ausgelöst werden, i.d.R. durch die Umwandlung eines harmlosen Precursors.

**Tab.: 6: Klinische Studien zur gentherapeutischen Behandlung von SCID-X1 (veränd. nach einer Datenbank-Analyse in Journal of Gene Medicine 2005)**

Land (Datenbank-Code)	Titel	Referenz
Australien ( <a href="#">AU-009</a> )	SCID-X1 gene therapy clinical trial	-
Frankreich ( <a href="#">FR-014</a> )	Gene therapy of human severe combined immunodeficiency (SCID)-X1 disease	Cavazzana-Calvo et al. 2000
USA ( <a href="#">US-152</a> )	Gene Therapy for X-linked Severe Combined Immune Deficiency using Retroviral Mediated Transduction of the Common Gamma Chain cDNA into CD34+ Cells	-
USA ( <a href="#">US-446</a> )	Transplantation of Gene-Corrected Autologous CD34+ Hematopoietic Stem Cells in Previously Transplanted Patients with JAK3 Deficiency and Persistent Humoral Immune Defects.	-

- Korrektive Gentherapie: Das übertragene Gen soll in den Zielzellen einen genetischen Defekt korrigieren, angewandt vor allem bei der Behandlung monogener Erbkrankheiten, so bei den vier zurzeit existierenden Studien zu SCID-X1 (vgl. Tab. 6), wobei nur die französische Gruppe bereits Ergebnisse veröffentlicht hat (Cavazzana-Calvo et al. 2000):

Als therapeutisches Gen diente das menschliche  $\gamma_c$ -Gen, einkloniert in einen rekombinierten Retrovirus (Moloney-Maus-Leukämie-Virus, Hacein-Bey 1996), mit dem ex vivo autologe Knochenmarkszellen (hämatopoietische CD34+ - Stammzellen) infiziert wurden. Diese wurden anschließend per Infusion in die Blutbahn von insgesamt zehn Kindern übertragen, wobei sich bei neun Patienten ein funktionierendes Immunsystem ausgebildet und über mehrere Jahre erhalten hat (Hacein-Bey-Abina et al. 2003, S. 415). Retrovirale Vektoren werden nach Emery (2004, S. 413) aufgrund folgender Vorteile eingesetzt: Ersten integrieren sie als intakte DNA-Moleküle in zelluläre Chromosomen, dabei sind bisher keine chromosomalen Rearrangements bekannt geworden. Zweitens ermöglichen sie eine stabile Transduktion und einen effizienten Gentransfer (bis zu 25 % transgene Zellen). Hacein-Bey-Abina et al. (2003, S. 415) nennen als Hauptrisiko für die retroviren-vermittelten Gentherapie die Mutagenese durch zufallsabhängige Insertionen des Vektors im Genom. Dabei könnten Tumorsuppressorgene inaktiviert oder Proto-Onkogene aktiviert werden. Ersteres halten Williams & Baum (2003, S. 400) für klinisch weniger bedeutsam, da erst bei entsprechender Homozygotie eine Tumorinduktion stattfindet; bei letzterem dagegen reicht die Aktivierung eines Allels aus. Nach Hacein-Bey-Abina et al. (2003, S. 416 f.) wurde der Vektor bei zwei ihrer Patienten in der Nachbarschaft eines Proto-Onkogen-Promotors eingebaut. Die viralen Sequenzen wirkten als

Enhancer für einen zentralen Transkriptionsfaktor in der Hämatopoiese (LMO2-Locus) und führten zu einer unkontrollierten Vermehrung von reifen T-Zellen, die als „acute T-cell leukaemia“ bezeichnet werden kann (Gore 2003, S. 4). Williams & Baum (2003, S. 400) vermuten, dass die Aktivierung durch die Insertion ein notwendiges Ereignis ist, „that is required for the initiation of a malignant cascade“. Aufgrund dieser Nebenwirkungen wurden die Studien in Frankreich und den USA zunächst gestoppt (AFSSDPDS 2002, U.S. FDA 2003), gleiches geschah - unabhängig von SCID-X1 - in Deutschland (PEI 2002). In den USA werden seither neue Studien nur genehmigt, wenn sie Krankheiten betreffen, „for which there currently are no viable alternative treatments“ (U.S. FDA 2004, S. 22 f.). In Deutschland wird im Einzelfall über eine „Aufhebung der Studienunterbrechung“ entschieden (PEI 2003, S. 4). Um speziell bei der Behandlung von SCID-X1 das Risiko von Insertionsmutationen zu verringern, schlagen Baum et al. (2004, S. 11) vor, die Anzahl der behandelten Zielzellen zu erniedrigen.

Zusammenfassend sehen Williams & Baum (2003, S. 401) drei Möglichkeiten, das Risiko gefährlicher Nebenwirkungen bei gentherapeutischen Eingriffen zu vermindern:

- „to develop vectors with improved safety profiles, including a reduced propensity for insertional ‚genotoxicity‘“;
- „to define ‘safe integration sites’ in the genome and to design integration vectors that are targeted to these sites“;
- „to reduce the number of vector-exposed cells (...) that are infused into the patient“.

### 1.5. Auswahl der Schülerexperimente

Ziel der folgenden Überlegungen ist es, unter Bezug auf die bisherigen didaktischen Entscheidungen die Experimente für den Projekttag auszuwählen und vorzustellen (vgl. Anh. 10 – 13 für die exakten Anleitungen).

#### 1. Transformation von *Escherichia coli* (Stamm HB 101) mit dem rekombinierten Plasmid pGLO

Als erstes Experiment übertragen die Schüler das GFP-codierende Plasmid pGLO (veränd. nach Bio-Rad Laboratories o.J., vgl. Kap. III 1.4.1.2) in Bakterien des Sicherheitsstammes *Escherichia coli* K12 HB101 (Boyer & Roulland-Dussoix 1969, S. 461). Dabei stellen sie zunächst kompetente Zellen über eine vereinfachte Calcium-chlorid-Methode (Mandel & Higa 1970, S. 159) her, transformieren dann unter Einbezug der Wirtsbakterien als Negativkontrolle die rekombinierte DNA über einen kurzfristigen Hitzeschock und plattieren anschließend die Bakterien auf selektiven Agarplatten aus (vgl. Anh. 10). Ein Nachteil jeder Transformation ist, dass die Schüler bedingt durch die notwendige Zeit für das Wachstum der Transformanten nicht am gleichen Tag ihr eigenes Versuchsergebnis sehen können. Da aber auf die Agarplatten des jeweiligen Vorkurses zurückgegriffen werden kann, erscheint dies akzeptabel. Somit kann das Ergebnis an sich von den Schülern erfasst werden.

#### 2. Isolierung des Plasmids pGLO aus transformierten Bakterien

Im zweiten Experiment isolieren die Schüler aus bereits angezogenen Flüssigkulturen transformierter Bakterien das übertragene Plasmid. Nach einer alkalischen Lyse (veränd. nach Sigma 2002) trennen sie die DNA über eine Adsorptionschromatographie (Birnboim & Doly 1979, Vogelstein & Gillespie 1978) von den übrigen bakteriellen Inhaltsstoffen ab. Diese Methode weist folgende Vorteile auf: geringer Zeitbedarf, kein Einsatz gefährlicher Chemikalien und für Schüler vom Verständnis her nachvollziehbar (vgl. Anh. 11).

#### 3. Analyse des rekombinierten Plasmids pGLO mit Restriktionsenzymen

Im dritten Experiment charakterisieren die Schüler Plasmid-Proben eines Vorkurses mit den Restriktionsenzymen *Eco* RI, *Pst* I und *Cla* I (Kessler & Manta 1990) und führen dabei sowohl Einzel- als auch Doppelansätze durch (vgl. Anh. 12).



4. Durchführung der Agarose-Gelelektrophorese zur Auftrennung der DNA-Proben
- Im vierten Experiment führen die Schüler eine Agarose-Gelelektrophorese durch, durch die sie ihre eigenen Ergebnisse bei der Plasmidisolierung bzw. den Restriktionsansätzen visualisieren können (vgl. Anh. 13). Dabei werden die Gele aus Zeitgründen bereits beim Gießen mit dem Farbstoff SybrGreen (Morin & Smith 1995, S. 223) versetzt, um eine direkte Färbung der DNA-Proben während der Elektrophorese zu ermöglichen. Das dadurch veränderte Wanderungsverhalten wird in Kauf genommen, da keine Fragmentlängenbestimmung vorgenommen wird.

Die vier ausgewählten Experimente ermöglichen es, dass Schüler im Rahmen des Unterrichtsgesprächs wiederholt Hypothesen entwickeln können. Genannt seien

- die Problematik der DNA-Aufnahme durch die bakterielle Zellwand bzw. – membran hindurch,
- die Notwendigkeit von Kontrollen bei Transformationen und Restriktionsansätzen,
- das Erkennen von Transformanten und Wirtsbakterien über spezifische Wachstumsbedingungen,
- Problematik der Freisetzung von DNA aus den Bakterienzellen und deren Abtrennung von anderen Inhaltsstoffen des Cytoplasmas,
- den Zusammenhang zwischen der Anzahl der Schnittstellen eines Restriktionsenzym und den zu erwartenden Fragmenten und
- dem Zusammenhang zwischen verschiedenen Faktoren, die die Trennung unterschiedlich langer DNA-Moleküle in einem Agarosegel beeinflussen.

Alle ausgewählten Experimente verdeutlichen zentrale molekularbiologische Methoden aus dem Bereich der Gentechnologie und sind in der Schule in dieser Form nicht durchführbar. Diese Einschätzung wird von der Mehrzahl der Lehrkräfte im Rahmen einer Befragung nach dem Projekttag bestätigt (vgl. im Detail Anh. 14). Die Experimente sind im Sinne von Hodson (1998, S. 118) "ordinary day-to-day actions of the community of practitioners" und somit „authentic activities“. Eine weitere Bewertung lässt sich mit Hilfe des Beurteilungssystems von Chinn & Malhotra (2002, S. 201 f.) durchführen (vgl. Kap. II 2.2). Fünf der insgesamt elf Kriterien für das Vorliegen von „authentic inquiry“ werden erfüllt (jeweils beispielhafte Angaben):

- “developing relatively complex controls”: Notwendigkeit, die Überlebensfähigkeit der Wirtsbakterien bei der Transformation zu überprüfen;
- „making multiple observations“: Beobachtung des Wachstums der transformierten Bakterien auf unterschiedlichen Nährböden;
- „complex transformation of observations“: Schlussfolgerungen aus dem graphischen Bandenmuster der Restriktionsansätze auf die vorhandenen Schnittstellen;
- „considerations of methodological flaws“: Analyse unerwarteter und/oder fehlerhafter Ergebnisse bei allen Experimenten;
- developing theories about mechanism“: mechanistische Vorstellungen zur DNA-Aufnahme bei der Transformation bzw. –Freisetzung bei der Lyse der Bakterien.

Damit liegen die ausgewählten Experimente über dem Durchschnitt von „2,9 of 11 features per task“, den Chinn & Malhotra (2002, S. 197 f.) als Ergebnis ihrer Analyse von „26 tasks developed by [educational] researchers“ angeben. Daneben zeigen die Experimente auch die drei Eigenschaften, die nach Chinn & Malhotra zwar nicht typisch für authentisches Experimentieren, aber für „researcher-developed tasks“ sind:

- „developing simple controls“: Kontrollansätze ohne Enzyme bei Restriktionsansätzen oder ohne Plasmid-DNA bei der Transformation;
- „simple transformation of observations“: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Gelelektrophorese;
- „multiple studies of the same type“: arbeitsgleiche Ansätze bei allen Experimenten.

Zusammenfassend lassen sich damit die Experimente auf dem Kontinuum zwischen „simple experiment“ und „authentic inquiry“ auf der Seite des letzteren einordnen, auch wenn die Kriterien „generating own research question“, „selecting own variables“, „observing intervening variables“, „using analog models“, „multiple studies of different types“ und „studying expert research reports“ bei einem eintägigen Projekttag nicht verwirklichen lassen.

Alle vier Experimente lassen sich in der vorgegebenen Zeit durchführen (vgl. im Detail unten Tab. 8). Der enge Zeitplan bedingt allerdings zwei Besonderheiten:

- Die Restriktionsanalyse liegt zeitlich vor der DNA-Isolierung.
- Das vierte Experiment wird in eine Vorbereitungsphase mit dem Gießen der Gele (Experiment 4A) und die eigentliche Durchführungsphase mit der Beprobung und der anschließenden Elektrophorese (Experiment 4B, vgl. Tab. 9) unterteilt.

Bei allen Experimenten müssen die Schüler mit ihnen bisher nicht bekannten Geräten umgehen, bspw. variablen Mikro-Pipetten. Das Fehlen einfacher Fähigkeiten kann erfolgreiches Arbeiten von Schülern im Lernort Labor verhindern (vgl. Bryce & Robertson 1985, S. 4). Daher ist eine „pre-lab“-Phase notwendig, um dann in der eigentlichen Unterrichtsphase sicher experimentieren zu können (Lunetta 1998, S. 254, Hodson 1998, S. 144, Dunn & Boud 1986, S. 65). Die experimentelle Einführung umfasst das Vorstellen und selbsttätige Bedienen aller Geräte am Schülerarbeitsplatz. Sie wird mit Demonstrationen des Kursleiters, verknüpft mit mündlichen Anleitungen, „auf gleicher Front“ (Kotter 1975, S. 39) durchgeführt, auf schriftliche Anweisungen wird daher verzichtet. Die Schüler gießen Gele in Petrischalen, üben das Pipettieren, Mischen und Zentrifugieren mit Farbstoff-Lösungen und beproben damit die Übungsgelle. Als Zeitraum werden für die „pre-lab“-Phase 45 Minuten angesetzt.

## 2. Unterrichtliche Umsetzung

Die unterrichtliche Umsetzung des Projekttag (vgl. Abb. 16) kann im Folgenden dreifach nachvollzogen werden, nämlich

- auf der inhaltlichen Ebene anhand der Lernziele bzw. Lerninhalte,
- auf der methodischen Ebene anhand des protokollierten Unterrichtsablaufs und
- auf der Ergebnisebene durch die experimentellen Resultate der Schüler.



**Abb.16: Schüler beim Experimentieren im Lernort Labor (von li. nach re.: Ausplattieren der transformierten Bakterien; Pipettieren der Restriktionsansätze; Beprobieren der Gelelektrophorese)**

### 2.1 Lernziele und Lerninhalte

„Ein Lernziel legt (...) fest, was der Schüler wissen und können soll, welche Einsichten er gewinnen und welches Verhalten er zeigen soll“ (Killermann 1995, S. 32). Lernziele werden nach ihrem „Abstraktionsgrad“ hierarchisch in mehrere Stufen unterteilt:

- Leitziele, die „die Schulbildung als Ganze umfassen“,
- Richtziele, die „breite Lerngebiete angeben“,
- Grobziele, die „eingegrenzte Themen betreffen“ und
- Feinziele, die „sich auf einzelne Lernschritte beziehen“ (Eschenhagen et al. 2003, S. 176).

Die beiden ersten Hierarchieebenen werden wegen fehlender Relevanz für den eintägigen Projekttag im Weiteren nicht berücksichtigt. Für die Grobziele werden die Zielklassen und Anforderungsstufen entsprechend der Matrix von Westphalen (1980,

S. 47) verwendet (vgl. Tab. 7), die auch Grundlage des gültigen Lehrplans sind (StUKWK 1991, S. 1126)

Es werden nur mittlere Anforderungsstufen ausgewählt, zum einen wird damit die Dauer der unterrichtlichen Intervention berücksichtigt, zum anderen lässt sich trotz des Bezuges der Lernziele auf das lehrplangebundene Vorwissen (vgl. Anh. 2) der Wissensstand der unbekanntenen Schüler nicht sicher einschätzen. Die Feinziele werden in operationalisierbarer Form angegeben und sind Grundlage der Überprüfung des Unterrichtserfolgs. Für die Zielklasse „Werten“, die die affektive Dimension der ethischen Reflektionsphase umfasst, und die Zielklasse „Können“, die die psychomotorische Dimension des experimentellen Handelns betrifft, werden deshalb keine Feinziele formuliert (vgl. Eschenhagen et al. 2003, S. 181).

**Tab. 7: Verwendete Zielklassen und Anforderungsstufen (Westphalen 1980, S. 47)**

Zielklasse	Anforderungsstufe	Definition
Wissen	Überblick	Erste Begegnung mit einem Wissensgebiet unter Berücksichtigung des Zusammenhangs wichtiger Teile
	Kenntnis	Stärkere Differenzierung der Inhalte und Betonung der Zusammenhänge
Erkennen	Bewusstsein	Erfassung wichtiger Aspekte einer Problemlage
	Einsicht	Erfassung bzw. Ausarbeitung einer Problemlösung
Können	Fähigkeit	Können, das zum Vollzug von Operationen notwendig ist
Werten	Bereitschaft	Mittlere Anforderungsstufe

Die folgende Tab. 8 fasst die Grob- und Feinziele zusammen; sie gibt außerdem einen Überblick über die mit den Zielen verknüpften Lerninhalten und verdeutlicht somit auch zum Teil die Stufen der didaktischen Reduktion der fachwissenschaftlichen Inhalte. Beispielhaft sei auf die strukturelle Reduktion beim Thema Arabinose-Operon (Grobziel 1, Feinziel 3) und die sektorale Reduktion beim Inhalt Anwendungen des GFP (Grobziel 2, Feinziel 3) hingewiesen.

**Tab. 8: Lernziele und Lerninhalte des Projekttages**

Grobziel 1	Bewusstsein der Problematik der Expression eukaryotischer Gene in Bakterien:
Lerninhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Transkriptions- und Translationssystem: Identität des DNA-Aufbaus: Raumstruktur, genetischer Code</li> <li>• Genstruktur: Exon-Intron-Struktur vs. Fehlen dieses Aufbaues,</li> <li>• Enzymsysteme: RNA-Polymerasen, Transkriptions- und Translationsfaktoren, Ribosomen;</li> <li>• Nutzung prokaryotischer Regulatorsequenzen für die Transkription des Fremdgens: bakterieller Operator und Promotor;</li> <li>• Regulation der Fremdgen-Expression über ein bakterielles Operon: „Schaltermolekül“ Arabinose als „Starter“.</li> </ul>
Feinziele	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Schüler sollen drei Unterschiede zwischen dem bakteriellen und eukaryotischen Transkriptions- und Translationssystem nennen können.</li> <li>2. Die Schüler sollen die Bedeutung prokaryotischer Regulatorsequenzen für Transkription eines Fremdgens erläutern können.</li> <li>3. Die Schüler sollen die Bedeutung der Arabinose als „Schaltermolekül“ erläutern können.</li> </ol>
Grobziel 2	Überblick über das GFP-System:
Lerninhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besonderheiten des grün fluoreszierenden Proteins GFP: Fluoreszenz unter UV-Licht; Tertiärstruktur: Röhrenprotein mit innen liegendem Farbgeber; Möglichkeit zur Bildung von Fusions-Proteinen mit anderen Eiweißen</li> <li>• Aufbau des Expressionsplasmids pGLO: Replikations-Origin und drei Strukturgene: Eukaryotisches Gen für GFP aus der Meeresqualle <i>Aequorea victoria</i>; Gen für Beta-Lactamase für die Ampicillinresistenz; Gen für Arabinose-Aktivator und Arabinose-Operon-Promotor zur Expression des eukaryotischen Gens durch die bakterielle RNA-Polymerase;</li> <li>• beispielhafte Anwendungen des GFP in der Molekularbiologie: Reporter-Gen, Visualisierung von zellinternen Vorgängen.</li> </ul>
Feinziele	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Schüler sollen die typische Baueinheiten des GFP benennen können.</li> <li>2. Die Schüler sollen die Bedeutung der einzelnen DNA-Abschnitte auf dem Expressionsplasmid formulieren können.</li> <li>3. Die Schüler sollen die biochemische Grundlage für die Bedeutung des GFP in der modernen Biologie erläutern können.</li> </ol>
Grobziel 3	Kenntnis der einzelnen Vorgänge und ihrer jeweiligen Bedeutung bei der Transformation von Bakterien:
Lerninhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolierung einer einzelnen Kolonie;</li> <li>• Veränderung der DNA und der Zellmembran durch die Ca-chlorid-haltige Transformationslösung;</li> <li>• Hitzeschock für den eigentlichen Aufnahmeschritt;</li> <li>• Erholungsphase zur Regeneration der Zellen im Nährmedium;</li> <li>• Ausplattieren der Zellen auf Agarplatten.</li> </ul>
Feinziele	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Schüler sollen den Begriff Transformation definieren können.</li> <li>2. Die Schüler sollen die einzelnen experimentellen Teilschritte in der richtigen Reihenfolge benennen können.</li> <li>3. Die Schüler sollen die Bedeutung der einzelnen Teilvorgänge erläutern können.</li> </ol>
Grobziel 4	Fähigkeit, anhand von vorgegebenen Versuchsanleitungen und nach einer Einführung des Kursleiters Experimente in Gruppen selbständig durchzuführen:
Lerninhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versuchsanleitungen zu folgenden Experimenten: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Transformation von <i>E. coli</i> HB 101 mit dem Plasmid pGLO;</li> <li>- DNA-Präparation des Plasmids pGLO aus Flüssigkulturen;</li> <li>- Restriktionsansätze des Plasmids pGLO mit gegebenen Restriktionsenzymen</li> <li>- Agarose-Gelelektrophorese von DNA-Proben</li> </ul> </li> </ul>
Grobziel 5	Einsicht in die Bedeutung von Kontrollversuchen bei einer Transformation:
Lerninhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• negative Kontrolle (LB-Medium): Überlebensfähigkeit der Wirtsbakterien;</li> <li>• negative Kontrolle (LB-Amp-Medium): fehlende Resistenz der Wirtsbakterien;</li> <li>• Transformanten-Kontrolle (LB-Amp-Medium): Resistenz der transformierten Bakterien, aber keine Expression ohne „Schalter-Molekül“.</li> </ul>
Feinziele	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Schüler sollen aus vorgegebenen Angaben zu einem rekombinierten Plasmid die richtigen Medien für das Ausplattieren ableiten können.</li> </ol>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Die Schüler sollen die Bedeutung eines vorgegebenen Kontrollansatzes begründen können.</li> <li>3. Die Schüler sollen aus vorgegebenen Angaben zu einem rekombinierten Plasmid die richtigen Kontrollversuche ableiten können.</li> </ol>
Grobziel 6	Kenntnis der einzelnen Vorgänge und ihrer jeweiligen Bedeutung bei der Isolierung von bakteriellen Plasmiden:
Lerninhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolierung aus Flüssigkulturen: ausreichende Zellzahl notwendig;</li> <li>• Lyse der Zellwand und -membran durch stark alkalische Bedingungen: Hydrolyse der vorhandenen chemischen Bindungen;</li> <li>• Neutralisation des Lysats: Fällung zahlreicher Inhaltsstoffe, u.a. von chromosomaler DNA und Proteinen;</li> <li>• Zentrifugation der Lysate: Gewinnung der löslichen Inhaltsstoffe;</li> <li>• Affinitätschromatographie zur Anreicherung und Gewinnung der Plasmid-DNA vermittelt über Ionenbindungen zum Säulenmaterial.</li> </ul>
Feinziele	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Schüler sollen den Begriff Plasmid definieren können.</li> <li>2. Die Schüler sollen die einzelnen experimentellen Teilschritte bei einer Plasmidisolierung in der richtigen Reihenfolge benennen können.</li> <li>3. Die Schüler sollen die Bedeutung der einzelnen Teilvorgänge erläutern können.</li> </ol>
Grobziel 7	Bewusstsein für die Bedeutung der Agarose-Gelelektrophorese in der DNA-Analytik:
Lerninhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überblick über den Aufbau einer Gelelektrophorese-Apparatur: Elektroden, Pufferkammer, Gelträger, Gelkämme, Gleichspannungsquelle;</li> <li>• Einblick in die Funktionsweise einer Gelelektrophorese-Apparatur: Wanderung von geladenen Teilchen zur entgegengesetzt gepolten Elektrode;</li> <li>• Überblick über die physikalisch-chemische Grundlage bei der Trennung von DNA-Molekülen: negative Ladungen an den Phosphatgruppen bedingen eine Wanderung zum (+)-Pol, Voraussetzung richtige Pufferbedingungen;</li> <li>• Einblick in den Bau und die Wirkungsweise der Agarose: Polysaccharid aus Braunalgen mit kettenförmigem Aufbau, bedingt eine langsamere Wanderung von längeren DNA-Molekülen.</li> </ul>
Feinziele	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Schüler sollen die typischen Bestandteile einer Gelelektrophorese-Apparatur benennen können.</li> <li>2. Die Schüler sollen aus dem räumlichen Bau der Agarose die Bedeutung für die Elektrophorese ableiten können.</li> <li>3. Die Schüler sollen die entscheidenden Eigenschaften der DNA angeben können, die zur Trennung ausgenutzt werden.</li> </ol>
Grobziel 8	Überblick in die Bedeutung von Restriktionsenzymen zur Charakterisierung von Plasmiden:
Lerninhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition des Begriffs Restriktionsenzym: sequenzspezifische Spaltung eines DNA-Moleküls;</li> <li>• Spezifität der Restriktionsenzyme führt zu Spaltprodukten mit spezifischer Größe;</li> <li>• Erkennen der Spaltprodukte über eine Agarose-Gelelektrophorese unter Bezug auf einen Größenstandard;</li> <li>• Charakterisierung eines Plasmids über die Größe der Spaltprodukte;</li> </ul>
Feinziele	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Schüler sollen den Begriff Restriktionsenzym definieren können.</li> <li>2. Die Schüler sollen erkennen, dass ein Plasmid sequenzabhängig von unterschiedlichen Restriktionsenzymen an verschiedenen Stellen geschnitten werden kann.</li> <li>3. Die Schüler sollen anhand gegebener Schnittstellen das zu erwartende Ergebnis eines Restriktionsansatzes voraussagen können.</li> </ol>
Grobziel 9	Bereitschaft sich mit ethischen Fragestellungen im Zusammenhang mit der Gentechnik auseinanderzusetzen:
Lerninhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ethische Beurteilung des Eingriffs in das Erbgut eines Lebewesens: Unterscheidung empirisch feststellbares Risiko und ethische Beurteilung;</li> <li>• Gentherapie: allgemeine Definition des Begriffes; Keimbahntherapie am Beispiel Ichthyosis-X: kategoriale Begründungsebene;</li> </ul>

	<p>Somatische Gentherapie am Beispiel SCID-X1: konsequentialistische Begründungsebene anhand der ethischen Dilemmasituation Gentherapie vs. Tumorinduktion;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Bewusstmachen eigener Einstellungen zu ethischen Fragestellungen im Zusammenhang mit der Gentechnik.</li></ul>
--	--

Zum Erreichen der Lernziele wird im Unterricht Vorwissen aufgegriffen. Beispielfhaft sei der Lehrplaninhalt „Ableiten des molekularbiologischen Genbegriffs“ (StUKWK 1991, S. 1160) genannt, hier werden strukturelle und regulatorische Unterschiede bei pro- und eukaryotischen Genen wiederholt. Das gesamte relevante Vorwissen ist in Anh. 2 zusammengefasst.

Der Gewährleistung des Lernzielbezugs sowohl im Hinblick auf den unmittelbaren Inhalt „Aspekte der Gentechnologie“ als auch auf die Aktualisierung, Wiederholung und Vertiefung anderer Lerninhalte aus dem Lehrplan des Ausbildungsabschnittes 12/1 wird durch eine Befragung der Lehrkräfte bestätigt, die jeweils während des gesamten Unterrichts anwesend gewesen sind (vgl. im Detail Anh. 15).

## **2.2 Ablauf des Experimentalunterrichts**

Grundlage der Dokumentation des Unterrichtsverlaufs an den 10 Kurstagen ist ein abgewandeltes Artikulationsschema. Dieses fasst üblicherweise die Unterrichtsstrukturierung zusammen (Berck & Graf 2003, S. 5) und dient dazu die Komplexität des Unterrichtsprozesses zu reduzieren (Meyer 1994, S. 192). Es beinhaltet i.d.R. eine Zeitleiste, die Unterrichtsphasen, das geplante Lehrer- und Schülerverhalten sowie die eingesetzten Methoden und Medien (Eschenhagen et al. 2003, S. 170). In der Folge (Tab. 9) wird der reale Zeitverlauf dargestellt. Dazu wurden drei Kurstage – ausgewählt anhand der Teilnehmerzahlen (vgl. im Detail Anh. 16, 1.) - zeitlich exakt protokolliert (Angabe der Mittelwerte, vgl. im Detail Anh. 16, 2.). Die Tätigkeiten des Kursleiters und der Schüler sind jeweils angegeben. Zentrales Medium war eine Powerpoint-Präsentation (vgl. Anh. 17). Als narrativer Einstieg zur Motivation der Schüler diente ein Text über das GFP-exprimierende Kaninchen „Alba green“ (Kac 2002, vgl. Anh. 20), gekoppelt mit einer entsprechenden Abbildung (Anh. 17, Folie 3, vgl. oben Kap. II 3.3.2). Beides führte im Unterrichtsgespräch zu den vier zentralen und gleichzeitig adressatengerechten Problemfragen des Projekttages (vgl. Anh. 17, Folie 4):



1. Welcher Stoff verursacht das Leuchten?
2. Welche molekularbiologischen Verfahren sind notwendig, um letztendlich ein transgenes Lebewesen herzustellen?
3. Welche Bedeutung besitzt der grün leuchtende Stoff in der Biologie?
4. Wie soll man ein solches Experiment ethisch bewerten?

Im weiteren Unterrichtsgespräch wurde dann die zweite Frage unter Einbezug des Vorwissens zur „Gewinnung von Hybridplasmiden, der Klonierung, Analyse und Expression“ (StUKWK 1991, S. 1160) auf die notwendigen Verfahren zur Expression des grün leuchtenden Stoffes in Bakterien eingegrenzt und so der Bezug zu den vier ausgewählten Experimenten hergestellt (vgl. Anh. Folie 7).

Als besondere Medien wurden eingesetzt:

- computergesteuerte 3D-Animationen<sup>11</sup> mit Hilfe der Software Chime (MDL Information Systems 2004) zur Veranschaulichung der strukturellen Besonderheiten des GFP und des Restriktionsenzym *Eco RI* (Screenshots in den Anh. 21 u. 22);
- Filmsequenzen<sup>12</sup> zur Bedeutung des GFP als Reportereiweiß (einbezogen in Folie 36, Anh. 17).

Mit dem Unterrichtsgespräch zu Frage vier - der ethischen Reflektionsphase – wurde, ausgehend vom Eingangsbeispiel „Alba green“, das eigene experimentelle Handeln, die Übertragung von Erbgut in Bakterien, gekoppelt mit der Analyse über Restriktionsenzyme, den Schülern für eine Bewertung vorgeschlagen. Damit wurden neue Fragen aufgeworfen (Folie 38, Anh. 17):

- Wann und welche Gene darf man in ein Lebewesen übertragen?
- Wann und wozu darf man das Wissen aus der Analyse des Erbgutes anwenden?

Im weiteren Unterrichtsgespräch wurde die ethische Beurteilung auf die gentherapeutische Erbgutübertragung beim Menschen auf den beiden Ebenen Keim- und Somazellen eingeschränkt, um letztendlich die ethische Dilemmasituation – Gentherapie vs. potentielle Tumorinduktion - bei der somatischen Behandlung von

---

<sup>11</sup> Eigene Bearbeitungen mit freundlicher Genehmigung von T. Driscoll und J. Alves

<sup>12</sup> Mit freundlicher Genehmigung von C. Schuster

SCID-X1 (vgl. Kap. III 1.3 u. 1.4.2.2) vorzustellen. Folgende beispielhafte Äußerungen zeigen Fragen und Bewertungsvorschläge der Schüler auf:

- „Wie groß ist das dadurch entstehende Krebsrisiko?“
- „Könnte man vielleicht den Viren-Vektor verbessern?“
- „Wie soll man jeweils mehr über die Therapie und ihre Erfolge wissen können, wenn man es von vornherein verbietet?“
- „Es ist schwierig, der Embryo kann ja nicht gefragt werden, ob er die Behandlung möchte.“
- „Ich würde behandeln, denn das Leben außerhalb der Hülle [sterile Umgebung] ist es wert, das Risiko einzugehen, auch wenn das Leben vielleicht kürzer ist.“
- „Ich würde behandeln, der Krebs kann vielleicht später mal geheilt werden“
- „Ich würde nicht behandeln, das Risiko wäre mir zu groß.“

Die Auswertung der gewonnenen Experimental-Ergebnisse wurde im Rahmen eines Unterrichtsgespräches durchführt. Auf eine schriftliche Fixierung seitens der Schüler wurde verzichtet, um im Hinblick auf die empirische Studie eine Weitergabe von Inhalten über den besuchenden Kurs hinaus zumindest zu erschweren (vgl. Kap. III 1.2).

**Tab. 9: Übersicht über den Unterrichtsablauf (Folien in Anh. 17, „Alba green“-Text in Anh. 20)**

Mittlere Dauer (min)	Unterrichtsphase (mit Grobzielbezug (GZ. n))	Kursleiter	Schüler
40	„pre-lab“-Phase	Vorstellen des Arbeitsplatzes	Kennenlernen der Geräte und Üben der Anwendung
10	Pause		
34	Motivierender Einstieg	Lehrervortrag „Alba green“-Text (Folien 1-3)	
	Problemstellung	Unterrichtsgespräch (Folie 3)	
		Lehrervortrag: Zusammenfassung der Problemfragen 1 bis 4 (Folie 4)	
	Erarbeitung Frage 1 (GZ 2)	Unterrichtsgespräch zum Bau von GFP (Folien 5/6), Einsatz der 3D-Animation	
Erarbeitung Frage 2 (GZ 2 u. 1)	Unterrichtsgespräch zum Aufbau zum Aufbau von pGLO und der Regulation der Expression (Folien 7 – 13)		
15	Erarbeitung Transformation (GZ 3 u. 5)	Unterrichtsgespräch zur Aufnahme von DNA in die Bakterienzelle, zur Selektion der Transformanten und zu den Kontrollversuchen (Folien 14-17)	Hypothesenbildung
27	Durchführung Transformation (Experiment 1)	Erläuterung zu einzelnen Versuchsschritten anhand der Anleitung	Experimentieren
4	Auswertung Transformation	Ergebnis in Bezug zu Erwartungen (Folien 18/19)	Analyse von vorhandenen Agarplatten
13	Erarbeitung Restriktionsansätze	Unterrichtsgespräch zur Charakterisierung eines	Hypothesenbildung

	(GZ 8)	Plasmids und zum Einsatz von Restriktionsenzymen (Folien 20 – 24)	
10	Durchführung Restriktionsansätze (Experiment 3)	Erläuterungen zu einzelnen Versuchsschritten anhand der Anleitung	Experimentieren
7	Erarbeitung Agarose-Gelelektrophorese (GZ 7)	Unterrichtsgespräch unter Bezug auf die „pre-lab“-Phase (Folien 25 - 29)	
6	Durchführung Agarose-Gelelektrophorese (Experiment 4 A)		Herstellung der Agarosegele (vorbereitete, Agarose-Lösungen)
75	Mittagspause		
15	Erarbeitung Plasmidisolierung (GZ 6)	Unterrichtsgespräch zur Freisetzung und Reinigung von DNA aus Bakterien (Folien 30/31)	Hypothesenbildung
35	Durchführung Plasmidisolierung (Experiment 2)	Erläuterungen zu den einzelnen Versuchsschritten anhand der Anleitung	Experimentieren
28	Durchführung Agarose-Gelelektrophorese (Experiment 4 B)		Experimentieren: Probenauftrag mit isolierten und selbst, geschnittenen Proben
15	Pause		
10	Erarbeitung Frage 3 (GZ 2)	Lehrervortrag zur Anwendung von GFP <sup>13</sup> (Folien 32 – 36)	
23	Erarbeitung Frage 4 (GZ 9)	Unterrichtsgespräch zur ethischen Bewertung der Genübertragung beim Menschen (Folien 37 – 44)	
16	Auswertung Gelelektrophorese (Experiment 4)	Unterrichtsgespräch zu den Ergebnissen der Experimente 2 u. 3 unter Verwendung der erstellten Gelfotos (Einbezug der Folien 47, 49, 50)	
	Ausblick	Lehrervortrag „Alba green“ als transgenic art (Folien 51)	

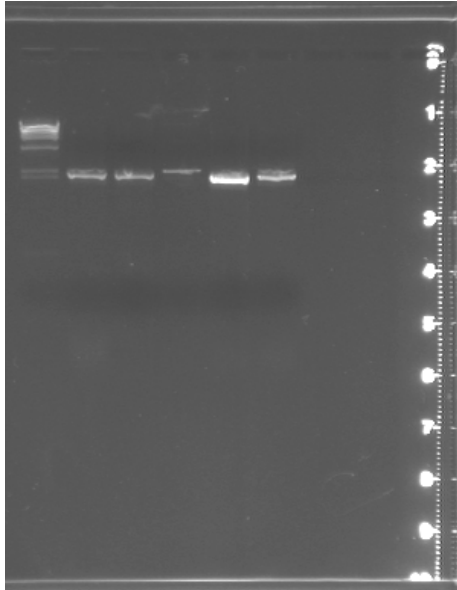
### 2.3 Beispielhafte Schülerergebnisse

Im Folgenden wird jeweils ein ausgewähltes Schülerergebnis zu den durchgeführten Experimenten dargestellt: Tabelle 10 zeigt die Ergebnisse eines Transformationsexperimentes und die Abbildungen 17 und 18 Fotos der Gele zur Plasmidisolierung bzw. zu den Restriktionsansätzen.

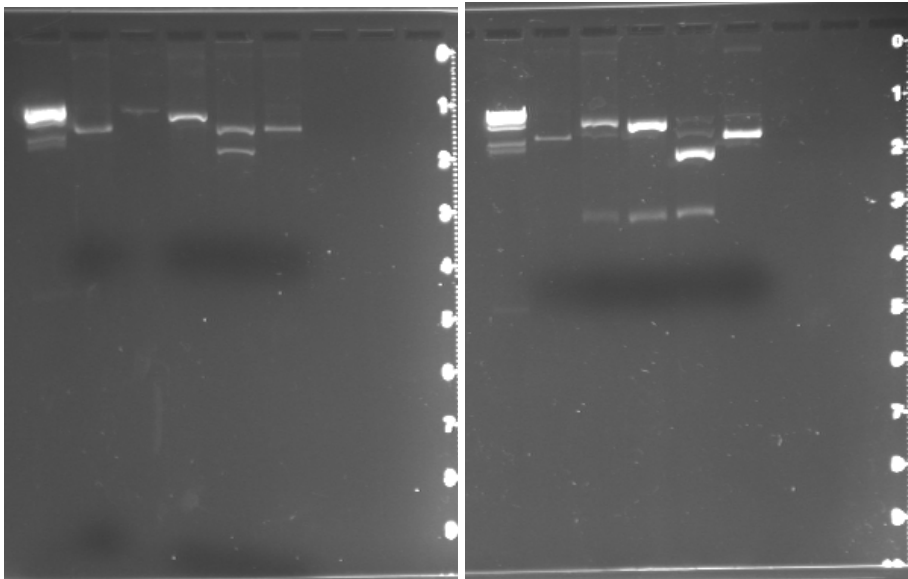
**Tab. 10: Beispielhaftes Schülerergebnis zum Transformationsexperiment (2. Kurstag, vgl. Anleitung Anh. 10 und übrige Ergebnisse in Anh. 23).**

DNA-Probe	-	-	pGLO	pGLO
Agar-Platten	LB	LB-AMP	LB-Amp	LB-Amp-Ara
Gruppe 1			60 Kolonien	58 Kolonien
Gruppe 2			127 Kolonien	120 Kolonien
Gruppe 3			16 Kolonien	13 Kolonien
Gruppe 4	Rasen	kein Wachstum		

<sup>13</sup> Einsatz von Abbildungen mit freundlicher Genehmigung von B. Westermann und C. Schuster



**Abb. 17: Beispielhaftes Schülerergebnis der Plasmidisolierung**  
 (9. Kurstag: Bahn 1: Längenstandard (Lambda *Hind* III); Bahnen 2-6: pGLO-Isolate der fünf Schülergruppen, Belichtungszeit 0,44 s; vgl. Anleitungen in den Anh. 11 u. 13)



**Abb. 18: Beispielhaftes Schülerergebnis der Restriktionsansätze**  
 (5. Kurstag: Gel 1: Bahn 1: Längenstandard (Lambda *Hind* III); Bahnen 2/6: pGLO-Isolate; Bahn 3: pGLO x *Eco* RI; Bahn 4: pGLO x *Cla* I; Bahn 5: pGLO x *Eco* RI/*Cla* I;  
 Gel 2: Bahn 1: Längenstandard (Lambda *Hind* III); Bahnen 2/6: pGLO-Isolate; Bahn 3: pGLO x *Pst* I; Bahn 4: pGLO x *Pst* I/*Eco* RI; Bahn 5: pGLO x *Pst* I/*Cla* I (Belichtungszeit 0,52 s, vgl. Anleitungen in den Anh. 12 u. 13)

## **2.4 Vergleich des experimentellen und des nicht experimentellen Unterrichts**

Bedingt durch die empirische Studie ist eine notwendige Implikation für den Experimentalunterricht, dass ein Unterricht mit gleichen Lernzielen und Lerninhalten im Rahmen eines Kontrollgruppendesigns (vgl. oben Kap. III 1.2 u. im Detail Kap.V 6.) auch ohne Experimente durchführbar sein sollte. Dies bedeutet, dass die Experimente des Projekttages Grundlage eines problemorientierten Unterricht sind, in dem die Schüler vergleichbar mit der Experimentalsituation Hypothesen bilden bzw. Fragen aufwerfen, die dann durch entsprechend medial aufbereitete reale Schülerergebnisse bestätigt oder widerlegt werden können. Für die Durchführung in insgesamt vierzehn Kursen wurden Folien erarbeitet, die die eingesetzte Powerpoint-Präsentation ergänzten (Anh. 18). Auf die aus organisatorischen Gründen in der Experimental-Gruppe vorgenommenen zeitlichen Änderungen (vgl. Kap. III 1.5) konnte verzichtet werden, so dass sich die Reihenfolge der übrigen Folien teilweise änderte (Details in Anh. 19). Der auf 90 min geplante Unterricht dauerte im Durchschnitt 97 min (Details im Anh. 24), die Differenzen beruhten auf der unterschiedlichen Intensität der Schülermitarbeit in den verschiedenen Kursen. Trotzdem wurde die Mitarbeit von den anwesenden Kursleitern unabhängig von der Unterrichtsform zwischen „ziemlich“ und „außerordentlich konzentriert“ eingeschätzt. Die Befragung der Lehrkräfte ergab dabei keine wesentlichen Unterschiede (vgl. im Detail Anh. 25). Die inhaltliche Übereinstimmung der beiden Unterrichtsformen wurde zum einen über beispielhafte Beobachtungen durch Experten (Biologiedidaktiker und Gymnasiallehrer (Mitarbeiter am Lehrstuhl Didaktik der Biologie)) sichergestellt. Zum anderen zeigen auch hier die Antworten der Lehrkräfte im Hinblick auf den Lernzielbezug keine großen Unterschiede (vgl. im Detail Anh. 15). Vergleichbar damit ist die im Mittel zwischen „gut“ und „sehr gut“ liegende Beurteilung der unterrichtlichen Erklärungen im Unterricht mit und ohne Experimente durch die Schüler, dabei lassen sich keine signifikanten Unterschiede feststellen (vgl. unten Kap. V 1.1, V 4.2.1 u. im Detail Anh. 26).

## IV. Hypothesenbildung

### 1. Vorüberlegungen

Die vorgestellte Studie folgt dem von Krüger (2003) formulierten biologiedidaktischen „Forschungsrahmen“ für „Entwicklungsorientierte Evaluationsforschung“ (vgl. Kap. I 1.2):

Auf der Basis theoretischer Überlegungen zum Experimentieren im Biologieunterricht, zum außerschulischen Lernort Labor und zu den Konstrukten Akzeptanz, Wissenserwerb und Interesse (vgl. Kap. II) ist ein biologiedidaktisch begründeter Experimentalunterricht zu Aspekten der Gentechnik entwickelt und im Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik der Universität Bayreuth durchgeführt worden (vgl. Kap. III).

Dieser Unterricht soll im Folgenden im Hinblick auf die unabhängigen Variablen Lernort (Schule vs. Labor) sowie selbsttätiges Experimentieren im Labor (Lernort Labor ohne vs. mit eigenständigem Experimentieren) empirisch überprüft werden.

Dazu werden zu den Zielen der Studie (vgl. Kap. I 1.2) theoriebezogene Hypothesen abgeleitet. Diese sind nach Diehl & Arbinger (2001, S. 19 ff.) als „wissenschaftliche Hypothesen“ anzusehen. Ihre Prüfung erfordert es, ein Untersuchungsdesign als „Versuchsplan“ mit entsprechenden Kontrollgruppen bspw. im Lernort Schule zu entwickeln (vgl. im Detail Kap. V 6.). Die so gewonnenen Ergebnisse werden dann über „statistische Hypothesen“ beurteilt (vgl. Kap. V 5.2).

Eine Bewertung der unabhängigen Variablen Lernort bzw. selbsttätiges Experimentieren lässt aufgrund der bisherigen Überlegungen eine positive Beeinflussung der drei Konstrukte vermuten (vgl. Kap. II 3):

Der Wechsel des Lernorts allein bringt die Schüler – unter der Voraussetzung eines vergleichbaren Unterrichts - in eine neue und im Gegensatz zum Lernort Schule authentische und lernfördernde Unterrichtssituation. Gleiches gilt zusätzlich für die dort durchgeführten Experimente, die sich durch ein hohes Maß an Authentizität auszeichnen (vgl. Kap. II 2.2 u. III 1.5).

## 2. Hypothesen

### 2.1 Akzeptanz

Das erste Ziel der Studie wird durch die folgende Frage vorgegeben:

Welche Akzeptanz erreicht die angebotene Unterrichtsveranstaltung zu gentechnischen Themen bei den Schülern und welche Faktoren spielen dabei eine entscheidende Rolle (vgl. Kap. I 1.2)?

Die obigen theoretischen Überlegungen - aufbauend auf der Akzeptanz-Definition von Lucke (1995, S. 104 vgl. Kap. II 3.1) – haben gezeigt, dass die Zustimmung von Schülern zu einer unterrichtlichen Veranstaltung grundsätzlich operationalisierbar ist. Es lassen sich Bedingungen angeben, die für eine Hypothesenbildung über die wirksamen Faktoren der Akzeptanz von Bedeutung sind: Die ganzheitliche Wahrnehmung des Unterrichts und/oder die damit verknüpften Akzeptanzkontexte könnten die Grundlage möglicher Akzeptanzfaktoren sein. Damit lässt sich die erste Hypothese H1 formulieren:

#### **Hypothese H1:**

Die Operationalisierung der ganzheitlichen Wahrnehmung und/oder der damit verknüpften Akzeptanzkontexte ermöglichen eine Identifizierung von Akzeptanzfaktoren.

Aufgrund der bisher spärlichen Ergebnisse zu diesem Bereich (vgl. Kap. I 1.1), speziell aus dem Bereich eines gentechnisch ausgerichteten Lernorts Labor, ist keine spezifischere Hypothese möglich. Die Studie besitzt hier explorativen Charakter.

Im Hinblick auf die Höhe der Akzeptanz stellen der neue Lernort Labor und die dort durchgeführten Experimente einen besonderen objektvermittelten Akzeptanzkontext dar. Dies bedingt die Hypothese H 2:

#### **Hypothese H2:**

Die Akzeptanz der Unterrichtsveranstaltung ist im Lernort Labor bereits ohne Experimente im Vergleich zum Lernort Schule erhöht, die selbsttätigen Experimente im Lernort Labor steigern die Akzeptanz zusätzlich.

## 2.2 Wissenserwerb

Die folgende Frage zum Experimentalunterricht im Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik gibt das zweite Ziel der Studie vor:

Welchen Einfluss besitzt das Experimentieren im Lernort Labor auf den Wissenserwerb der Schüler (vgl. Kap. I 1.2)?

Mit dem Wissenserwerb wird eine der wesentlichen Aufgaben von Biologieunterricht (vgl. Graf 2004, S. 54) der Evaluation unterzogen. Die unterrichtliche Umsetzung der diesbezüglichen theoretischen und fachdidaktischen Überlegungen (vgl. Kap. II 3.2 u. III) im Lernort Labor erfüllt die Ansprüche an einen problemorientierten Experimentalunterricht. Im Vergleich zum Lernort Schule sollte - wie bei den beiden anderen Konstrukten - speziell die Authentizität des Lernortes sowie der durchgeführten Experimente auf ihren verschiedenen Ebenen (vgl. Kap. II 2.2 u. III 1.5) den Erwerb von Wissen beeinflussen. Damit lässt sich die Hypothese H3 formulieren:

### **Hypothese H3:**

Der Wissenserwerb durch die Unterrichtsveranstaltung zu gentechnischen Themen ist im Lernort Labor bereits ohne Experimente im Vergleich zum Lernort Schule erhöht, durch die selbsttätigen Experimente im Lernort Labor wird er zusätzlich gesteigert.

## 2.3 Interesse

Das dritte Ziel der Studie verdeutlicht die Frage:

Welche Veränderungen im Bereich des Interesses an gentechnischen Fragen werden durch das Experimentieren im Lernort Labor ausgelöst (vgl. Kap. I. 1.2)?

Die obigen theoretischen Überlegungen (vgl. Kap. II 3.3) haben aufgezeigt, dass sich die Wirkungen eines problemorientierten Unterrichts auf das Konstrukt Interesse im Lernort Labor mit eigenständigem Experimentieren im Vergleich zu einem nicht experimentellen Unterricht unterscheiden sollten. Aufgrund ihrer Authentizität und Situiertheit sind die Experimente als interessefördernd einzuschätzen. Der Lernort allein sollte bei vergleichbarem Unterricht keinen Einfluss haben. Damit ergibt sich die Hypothese H4:



**Hypothese H4:**

Das Interesse an gentechnischen Fragen wird durch den Lernort einer Unterrichtsveranstaltung ohne Experimente (Schule vs. Labor) nicht beeinflusst. Im Lernort Labor mit eigenständigem Experimentieren wird das Interesse im Vergleich zu einem nicht experimentellen Unterricht erhöht.

**3. Einfluss weiterer unabhängiger Variablen**

Bei der Überprüfung der drei Hypothesen wird zusätzlich differenziert und der Einfluss folgender unabhängiger Variablen überprüft:

- Geschlecht:

Empirische Untersuchungen zu gentechnikbezogenen Einstellungen (vgl. Todt & Götz 1997, S. 19) und Interessen (vgl. Todt & Götz 1998, S. 7) belegen geschlechtsspezifische Unterschiede. Unabhängig von gentechnischem Wissen sind die bisherigen Ergebnisse dazu im kognitiven Bereich widersprüchlich (Kasten 2001, S. 213). Damit ist zu überprüfen, ob sich Unterschiede in der vorliegenden Studie finden lassen.

- Experimentiererfahrung:

Nach Hofstein & Lunetta (1982, S. 204 ff., 2004, S. 48) sind in einer empirischen Studie im Zusammenhang mit Experimenten die vorherigen Experimentiererfahrungen bei den Schülern zu erfassen (vgl. Kap. II 1.4.2). Deshalb erscheint es sinnvoll, die experimentelle Erfahrung sowohl im Hinblick auf vorgeführte Demonstrationsexperimente im Unterricht (unterrichtliche Experimentiererfahrung) als auch auf selbst durchgeführte Schülerexperimente (eigene Experimentiererfahrung) zu überprüfen. Eine weitere Variable in diesem Zusammenhang stellt im bayerischen Schulsystem der Schulzweig dar, denn nur die mathematisch-naturwissenschaftliche Ausbildungsrichtung (MNG) schreibt in den Fächern Chemie und Physik Schülerübungen vor.

- Schulischer Leistungsstand:

Nach Hofstein & Lunetta (1982, S. 204 ff., 2004, S. 48) ist in einer empirischen Untersuchung im Zusammenhang mit Experimenten zusätzlich auch der bisherige Leistungsstand (vgl. Kap. II 1.4.2) zu erfassen. Um Fehlinterpretationen aufgrund von Leistungen in anderen Fächern zu vermeiden, erscheint eine Beschränkung auf die bisherigen schriftlichen Leistungen im ersten Kurshalbjahr des Leistungskurses Biologie sinnvoll.

## V. Material und Methoden

### 1. Testtheorien

Die vorliegende Untersuchung bezieht sich auf zwei unterschiedliche Ansätze der Testtheorie, nämlich die klassische und die probabilistische Testtheorie. Sie versucht, die „künstliche Alternative“ zwischen beiden analytischen Verfahrensweisen zu überwinden, indem diese im Sinne von Rost (1996, S. 9) als „komplementäre, nicht als konkurrierende Theorien“ angesehen werden.

Die „an einem naturwissenschaftlichen Meßmodell orientierte ‚klassische‘ Testtheorie“ nimmt für ein Testergebnis an, dass es sich um den „wahren Ausprägungsgrad“ eines Merkmals handelt, der „von einem Meßfehler überlagert ist“ (Bortz & Döring 1995, S. 178). Sie setzt damit quantitativ erfassbare Messwerte voraus. Für eine probabilistische Theorie ist der Messwert erst „das Ergebnis einer Testanalyse und nicht ihre Voraussetzung“ (Rost, 1996, S. 10). Sie modelliert das Antwortverhalten auf der Basis einzelner Itemantworten (Rost 1999, S. 474) mit der Grundannahme, dass die Antwortwahrscheinlichkeit für ein Testitem von der Ausprägung einer nicht direkt beobachtbaren Personeneigenschaft abhängig ist (Bortz & Döring 1995, S. 179, v. Davier 1997, S. 17). Indem das Antwortmuster der Testitems berücksichtigt wird, lassen sich qualitative Personenunterschiede erfassen. Somit wird die quantitative Auswertung nach der klassischen Testtheorie ergänzt, denn die Berechnung eines Summenscores „enthält nicht mehr die Information, welche Person welches Item“ des Testes beantwortet hat (Rost 1996, S. 11).

Im Weiteren sollen zunächst die Gütekriterien der klassischen Testtheorie, bezogen auf die durchgeführte Untersuchung dargelegt werden. Anschließend folgt eine kurze Erläuterung des angewandten probabilistischen Testmodells, der latenten Klassenanalyse, als klassifizierende Testauswertung.

## 1.1 Gütekriterien der klassischen Testtheorie

„Die Kriterien der klassischen Testtheorie lassen sich (...) auf Fragebögen anwenden, die (...) die Funktion von Forschungsinstrumenten haben“ (Bortz & Döring 1995, S. 179). Die Eignung der eingesetzten Fragebögen als Forschungsinstrument lässt sich durch die Überprüfung der drei Kriterien zur Testgüte bewerten, der Objektivität, der Reliabilität und der Validität (Rost 1996, S. 31, Bortz & Döring 1995, S. 180, Lienert 1969, S. 12):

Unter der Objektivität eines Testes versteht man den „Grad, in dem die Ergebnisse eines Testes unabhängig vom Untersucher sind“ (Lienert 1969, S. 13). Für Tests als Verfahren zur Beurteilung von Persönlichkeitseigenschaften lässt sich diese Definition präzisieren: „Mit Objektivität ist gemeint, inwieweit das Testergebnis unabhängig ist von jeglichen Einflüssen außerhalb der getesteten Person“, beispielsweise vom Versuchsleiter, der Stichprobenauswahl, der Itemkonstruktion, der Datenauswertung und allen denkbaren „situationalen Bedingungen“ (Rost 1996, S. 31). Damit ist ersichtlich, dass es unterschiedliche Arten von Objektivität gibt. Bortz und Döring (1995, S. 180 f.) nennen Durchführungs-, Auswertungs- und Interpretationsobjektivität (vgl. auch Rost 1996, S. 37 f.). Auf diese soll hier eingegangen werden.

- **Durchführungsobjektivität:**

Die Durchführungsobjektivität ist gegeben, wenn das Testergebnis vom Untersuchungsleiter unabhängig ist (Bortz & Döring 1995, S. 180). Dabei sind in dieser Untersuchung zwei Ebenen zu unterscheiden, die des Unterrichts und die der Testanwendung selbst.

Da der Untersuchungsleiter für die Betreuung des Demonstrationslabors an die Universität Bayreuth abgeordnet worden ist (vgl. Anh. 27), ist er verpflichtet, den Unterricht dort durchzuführen. Um die Lehrperson als Faktor konstant zu halten, wird auch der nicht experimentelle Unterricht (vgl. Kap. III 2.4) von ihm gehalten. Unterschiedliche Lehrpersonen, gerade in den Kontrollgruppen, sind eine wesentliche Störgröße, denn Verhaltensweisen des Lehrers, die die Qualität des Unterrichts verändern, bspw. die „Verstärkung guter Leistungen“ oder „Nach einer Frage genügend lange warten“ haben sich als „Maßnahmen mit relativ hoher Effektivität“ erwiesen (Häußler et al. 1998, S. 157, vgl. auch Hofstein & Lunetta 1982, S. 204 ff. u. 2004, S. 48). Diese mögliche Störung wird als bedeutsamer

eingeschätzt als ein potentieller „Rosenthal-Effekt“, eine Beeinflussung der Untersuchungsergebnisse durch den Untersucher selbst (Felser 1997, S. 457). Zudem zeigten zum einen beispielhafte Beobachtungen (vgl. Kap. III, 2.4) sowohl des nicht experimentellen als auch des experimentellen Unterrichts keine Hinweise auf einen solchen Effekt, zum anderen wurden die unterrichtlichen Erklärungen des Untersuchungsleiters innerhalb der verschiedenen Unterrichtsgruppen von den Schülern weder im Anschluss an die Projektveranstaltung noch rückblickend signifikant unterschiedlich bewertet (Kruskal-Wallis-Test  $p = 0,079$  bzw.  $p = 0,116$ , vgl. Details in Anh. 26).

Auf der Ebene der Testdurchführung ist nach Bortz & Döring (1995, S. 180) eine hohe Durchführungsobjektivität gegeben, da die Fragebögen standardisierte Instruktionen enthalten, die dem Probanden während der Testanwendung keine Möglichkeit zu individuell unterschiedlichem Handeln bieten.

- **Auswertungsobjektivität:**

Ist die Auswertung eines Tests von der Person des Auswerters unabhängig, spricht man von Auswertungsobjektivität (Bortz & Döring 1995, S. 180). Bei Testitems, bei denen wie in den Fragebögen dieser Untersuchung die Art der Beantwortung festgelegt ist (vgl. Kap. V 4.1), ist diese „praktisch vollkommen verwirklicht“ (Lienert 1969, S. 13). Wie unten dargelegt ist (vgl. Kap. V 4.2.2.1), kann man auch bei den eingesetzten halboffenen Fragen nach Diehl & Staufenbiel (2002, S. 161 f.) und Bortz & Döring (1995, S. 180, S. 254) von akzeptabler Auswertungsobjektivität ausgehen.

- **Interpretationsobjektivität:**

Die Interpretationsobjektivität, d.h. die Unabhängigkeit einer Deutung von der Person des Interpretierenden, lässt sich im Rahmen dieser Studie nicht mit Hilfe bereits bekannter Vergleichsmaßstäbe überprüfen, wie Bortz & Döring (1995, S. 181) vorschlagen. Diese existieren nicht. Sie kann daher nur im Rahmen der Diskussion gewährleistet werden.

Die Reliabilität kennzeichnet den „Grad der Genauigkeit, mit dem das geprüfte Merkmal gemessen wird“ (Bortz & Döring 1995, S. 181). Ihre Quantifizierung erfolgt jeweils konstrukt- und damit testabhängig in den Kap. V 4.2.2.2, 4.3.2.1 u. 4.4.2.

Die Validität charakterisiert den „Grad der Gültigkeit der Messung“ und damit die „Aussagefähigkeit des Testergebnisses bezüglich der Meßintention“ (Rost 1996, S. 31). Dabei darf die testtheoretische Ebene zur Beurteilung der Qualität eines Messinstruments nicht mit der Ebene des empirischen Untersuchungsdesigns, die die Kriterien der externen und internen Validität umfasst (vgl. Kap. V 3.), verwechselt werden (Bortz & Döring 1995, S. 185). Die Testbewertung umfasst die drei Hauptarten Inhalts-, Kriteriums- und Konstruktvalidität.

- **Inhaltsvalidität:**

Die Inhalts- oder Augenscheinvalidität gilt als gegeben, wenn ein Test inhaltlich die wesentlichen Aspekte des zu messenden Konstrukts erfasst. Ein Verfahren zu ihrer numerischen Bestimmung gibt es nicht (Bortz & Döring 1995, S. 185). Im Bereich des Wissens wird sie durch einen eindeutigen Bezug zu den vorgegebenen Lernzielen gewährleistet. Im Bereich Akzeptanz und Interesse ist sie durch eine wiederholte Befragung von drei Experten (Biologiedidaktiker und Lehrer) überprüft worden (vgl. Finke 1998, S.75) und wird nach Augenschein erfüllt.

- **Kriteriumsvalidität:**

Kriteriumsvalidität wird dann angenommen, wenn ein zu testendes Merkmal mit einem korrespondierenden manifesten Merkmal als Außenkriterium in hinreichendem Maße übereinstimmt. So wurde der Zusammenhang zwischen den Resultaten der Schüler im Bereich Wissen mit ihren kognitiven, schulischen Leistungen überprüft (vgl. Kap. V 4.3.2.1). Für die Konstrukte Akzeptanz bzw. Interesse gilt, was Bortz & Döring (1995, S. 186) als Regelfall bezeichnen, dass „kein adäquates Außenkriterium genannt werden kann“.

- **Konstruktvalidität:**

Inwieweit Konstruktvalidität vorliegt, d.h. dass „aufgrund theoretischer (...) Erwägungen und anhand von sich daran anschließenden empirischen Untersuchungen (...) entschieden [wird], ob der Test ein bestimmtes Konstrukt zu erfassen vermag“ (Lienert 1969, S. 17), kann erst im Rahmen der untersuchungstechnischen Analysen bzw. der Diskussion geklärt werden (vgl. Kap. V 4.2.2.2 u. 4.4.2 u. VII 1.1).

## 1.2 Die latente Klassenanalyse – ein probabilistisches Testmodell

Die latente Klassenanalyse (Lazarsfeld & Henry 1968, S. 15 ff.) ist eine probabilistische Testauswertung auf der Basis des Antwortmusters der Probanden. Dabei werden die Personen so klassifiziert, dass sie sich in ihrem Antwortverhalten innerhalb der Klassen minimal, zwischen den Klassen jedoch maximal unterscheiden (vgl. Nerdel 2002, S. 44 f.). Die Anzahl der latenten Klassen ist „a priori festzulegen, da sie keinen zu schätzenden Modellparameter darstellt“ (v. Davier 1997, S. 21). Sie wird durch inhaltliche Überlegungen oder vorliegende Hypothesen begründet (v. Davier 1997, S. 58). Im Rahmen der Anwendung im Bereich Wissen werden mehrere Modelle berechnet und, wie von Rost (1996, S. 154) vorgeschlagen, „über eine Kontrolle der Modellgültigkeit“ bewertet (vgl. Kap. V 4.3.2.2). Bei Vorgabe der Klassenanzahl wird für jedes Item eine klassenbezogene Lösungswahrscheinlichkeit berechnet, diese entspricht der Itemschwierigkeit. Als Messwerte werden für jeden Probanden Zuordnungswahrscheinlichkeiten für die einzelnen Klassen bestimmt. Die maximale Zuordnungswahrscheinlichkeit legt dann die Klassenzugehörigkeit der Person fest (vgl. Kap. V 4.3.2.2).

Folgende Annahmen (Rost 1996, S. 153 ff.) liegen der Modellierung zugrunde (vgl. im Detail Anh. 28):

- Die Lösungswahrscheinlichkeit eines Items ist für alle Personen einer latenten Klasse konstant.
- Jede Person gehört nur einer latenten Klasse an, d.h. die Klassen sind disjunkt und exhaustiv. Obwohl die Klassengröße unbekannt ist, lässt sich bei gegebener Klassenzahl eine unbedingte Lösungswahrscheinlichkeit für jedes Item berechnen.
- Bei Itemhomogenität lässt sich die unbedingte Wahrscheinlichkeit eines Antwortmusters (Patternwahrscheinlichkeit) berechnen.
- Bei lokaler stochastischer Unabhängigkeit lassen sich die bedingten Patternwahrscheinlichkeiten bestimmen.

## **2. Vorstudien**

Der hier vorgestellten Hauptuntersuchung gingen zwei Vorstudien voraus, eine Pilotstudie sowie eine Voruntersuchung.

### **2.1 Pilotstudie**

An der Pilotstudie im Winterhalbjahr 2002/03 nahmen 12 Schüler eines Pluskurses Molekularbiologie (12. Jahrgangsstufe) teil. Im Rahmen eines wöchentlich zweistündigen Praktikums wurden mit ihnen die ausgewählten Experimente (vgl. III, Kap. 1.5) erprobt und im Hinblick auf die Anleitungen, die Gestaltung der Arbeitsplätze, die Durchführung und die Ergebnisdarstellung optimiert. Auch die Pilotfassungen der erstellten Fragebögen wurden unter den Aspekten sprachliche Formulierung, Verständlichkeit und Handhabung getestet und verbessert.

### **2.2 Voruntersuchung**

An der Voruntersuchung im Frühjahr 2003 nahmen insgesamt 172 Schüler der 12. Jahrgangsstufe aus 12 Biologie-Leistungskursen teil. Zur Auswertung kamen die Daten von 143 Schülern, das entspricht einer Rücklaufquote von 83,1 %. Auf die Darstellung aller Ergebnisse soll in Anbetracht des Umfangs der Hauptuntersuchung verzichtet werden.

Im Folgenden werden nur die für die Hauptuntersuchung wesentlichen Schlussfolgerungen im Hinblick auf die Testkonstruktion, auf die Faktoren Unterrichtszeit und Vorwissen sowie auf einen möglichen Pretest-Effekt dargestellt.

#### **2.2.1 Folgerungen für die Testkonstruktion der Studie**

Die erstellten Fragebögen wurden im Rahmen der Voruntersuchung einer ausführlichen Analyse unterzogen. Folgende Ergebnisse wirkten sich für die Hauptuntersuchung aus:

- Eine Faktorenanalyse des Itempools zum Konstrukt Akzeptanz untergliederte den Test in drei homogene Subtests (vgl. Lienert 1969, S. 490 ff.) und ergab damit drei wirksame Faktoren (detaillierte Zusammenfassung in Scharfenberg & Klautke 2003):

- a) Affektive Bewertung: affektbezogene Bewertung sowohl der gesamten Veranstaltung als auch der Erklärungen des Projektleiters;
- b) Bewertung des instrumentellen Handelns: Bewertung des Handelns im Unterricht;
- c) Einschätzung des eigenen Vorwissens.

Die beiden ersten Faktoren wurden mit ausreichender Reliabilität gemessen. Ihre Reliabilitätskoeffizienten (Cronbachs Alpha, vgl. Bortz & Döring 1995, S. 184) lagen über der von Lienert (1969, S. 246) angegebenen Grenze von 0,6 (vgl. Tab. 11). Gleichzeitig waren sie homogen und trennscharf (vgl. Tab. 12). Die Homogenität (durchschnittliche Item-Interkorrelation, vgl. Bortz & Döring 1995, S. 200) lag innerhalb oder knapp über dem von Bortz & Döring (1995, S. 201) angegebenen Bereich von 0,2 bis 0,4. Die korrigierten Trennschärfen (Korrelation des Items mit dem Gesamtwert ohne dieses Item, vgl. Zöfel 2002, S. 235) waren alle signifikant und bis auf einen Wert über der Grenze von 0,3, den Weise (1975, S. 219) als mittelmäßig charakterisiert. Die Fremdtrennschärfen (Korrelation mit dem Gesamtwert des anderen Faktors) waren jeweils niedriger als die korrigierten Trennschärfen (vgl. Diehl & Kohr 1999, S. 401 ff.). Die entsprechenden acht Items konnten somit unverändert in den Fragebogen für die Hauptuntersuchung übernommen werden. Für den dritten Faktor wurde keine ausreichende Reliabilität erreicht (vgl. Tab. 11). Damit ergab sich die Notwendigkeit, dessen Items für die Hauptuntersuchung umzuformulieren bzw. zu ergänzen (vgl. im Detail Kap. V 4.2.1).

**Tab. 11: Reliabilitäten der Akzeptanzfaktoren in der Voruntersuchung (Cronbachs Alpha)**

Akzeptanzfaktor	Nachtest I	Nachtest II
Affektive Bewertung	$\alpha=0,78$	$\alpha=0,85$
Bewertung des Instrumentellen Handelns	$\alpha=0,67$	$\alpha=0,71$
Einschätzung des Vorwissens	$\alpha=0,54$	$\alpha=0,39$



**Tab. 12: Homogenitäten und Trennschärfen der Akzeptanzfaktoren in der Voruntersuchung**

Faktor	Test	Homogenität	Korrigierte Trennschärfen	Fremdtrennschärfen
Affektive Bewertung	Nachtest I	0,48	4 x > 0,5	niedriger
	Nachtest II	0,46	4 x > 0,5	niedriger
Bewertung des instrumentellen Handelns	Nachtest I	0,32	1 x > 0,5 3 x > 0,3	niedriger
	Nachtest II	0,39	3 x > 0,5 1 x < 0,3	niedriger
	Schwellenwerte	0,2 – 0,4 (Bortz & Döring 1995, S. 201)	> 0,3 mittelmäßig; > 0,5 hoch (Weise 1975, S. 219)	niedriger als korrigierte Trennschärfen (Diehl & Kohr 1999, S. 401 ff.)

- Eine Distraktoren- und Reliabilitätsanalyse des Itempools zum Wissenserwerb ergab eine Reduktion von 21 auf 16 reliable Items (Nachtest: Cronbachs Alpha 0,77). Zwei Items erwiesen sich als zu leicht bzw. ein Item als zu schwer (Schwierigkeitsindex, d.h. Anzahl richtiger Antworten / Anzahl gesamter Antworten, > 0,8 bzw. < 0,2, vgl. Bortz & Döring 1995, S. 199). Zwei weitere Items besaßen keine signifikanten korrigierten Trennschärfen. Die Schwierigkeitsindices der verbleibenden Items waren normalverteilt (Anpassungstest nach Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,999$  ( $N = 16$ )). Somit konnten 16 Items zum Wissenserwerb mit unverändert in die Hauptuntersuchung übernommen werden (vgl. im Detail Kap. V 4.3.1).
- Die Reliabilitäts- und Faktorenanalyse des Itempools zum Interesse an gentechnischen Fragestellungen ergab, dass die Anzahl von acht Items nicht ausreichte, um sichere Aussagen zu treffen. Nach Rost (1996, S. 357) lässt die Reliabilität für die Verlängerung eines Tests aus  $i$  Items um  $n$  Items berechnen:  

$$\text{Rel}(i \times k) = k \times \text{Rel}(i) / (1 + (k - 1) \times \text{Rel}(i))$$
 (Verlängerungsfaktor  $k = \text{Itemanzahl } i + n / \text{Itemanzahl } i$ ).  
 Eine Erhöhung der Itemanzahl auf 12 ließ danach reliable Items erwarten (vgl. Anh. 29 und im Detail Kap. V 4.4.1).

### 2.2.2 Die Variable Unterrichtszeit

Ein wesentliches Problem beim Vergleich von nicht experimentellem Unterricht mit schüleraktivem Experimentalunterricht im Rahmen dieser Studie wird durch die Variable Unterrichtszeit bedingt: „Der Zeitaufwand für Schülerversuche ist beträchtlich“ (Kotter 1975, S. 31). So stellte Füller (1992, S. 122) im Rahmen seiner Untersuchungen fest, dass Biologieunterricht mit Schülerexperimenten in der Unterstufe ca. 20 % mehr Zeit benötigt als ein vergleichbarer Unterricht mit Demonstrationsexperimenten oder ohne Experimente. Entsprechend ist auch der Zeitaufwand für den Experimentalunterricht im Lernort Labor gegenüber einem nicht experimentellen Unterricht erhöht. In vielen Studien wird dies nicht berücksichtigt (vgl. z.B. Yager et al. 1969). Saunders & Dickinson (1976, S. 461) führten in ihrer Untersuchung deshalb eine Kontrollgruppe ein, bei der der nicht experimentelle Unterricht (2 ½ h) durch folgende Maßnahmen auf die gleiche Dauer wie die experimentelle Variante (5 ½ h) verlängert wurde: „discussion of material presented in lecture, student reports on current biological issues, selected films covering lecture topics, demonstration of difficult concepts presented in the lecture, and a few opportunities to do ‚cookbook‘ laboratory exercises“. Dadurch ist jedoch keine inhaltliche Vergleichbarkeit mehr gegeben. Vor allem die erste Möglichkeit bietet die Chance, die Unterrichtszeit ohne neue Informationen an die des Experimentalunterricht anzugleichen, allerdings nur wenn der Lehrer nicht an der Diskussion beteiligt ist; ein Erreichen der identischen Zeit erscheint aber bei vergleichbarem Inhalt als nahezu unmöglich.

Der mögliche Einfluss des Faktors Unterrichtszeit wurde in der Voruntersuchung über eine Kontrollgruppe „Labor+Zeit“ überprüft. Zwei Kurse (N = 22) erhielten den nicht experimentellen Unterricht im Lernort Labor, (vgl. Kap. III 2.4) wobei der Unterrichtsverlauf mitprotokolliert wurde. Die eigentliche Unterrichtszeit (im Mittel 124 min) wurde durch zwei Maßnahmen verlängert: Begonnen wurde mit einer theoretischen Einführung in den Arbeitsplatz im Labor (15 min) und am Ende hatten die Schüler die Möglichkeit, sich selbständig in Partnerarbeit anhand der ausgedruckten Powerpointfolien nochmals mit den Inhalten zu beschäftigen (20 min).

Sowohl im Bereich Akzeptanz (vgl. im Detail Scharfenberg & Klautke 2003) als auch beim Wissenserwerb (vgl. beispielhaft in Anh. 30 1. u. 2.) führte der gewährte Zeitzuschlag zu schlechteren Ergebnissen im Vergleich zu einem nicht

experimentellen Unterricht ohne Zeitzuschlag bzw. einem Experimentalunterricht, beide jeweils im Lernort Labor. Das zusätzliche Zeitangebot wird vor allem rückblickend von den Schülern nicht angenommen: Ca. 2/3 der antwortenden Schüler bemängeln bei der Frage nach dem, was ihnen besonders missfallen hat, die lange Dauer der Veranstaltung (vgl. im Detail Anh. 30 3.).

Ergänzend dazu gibt Füller (1992, S. 165) an: „Klassen, die zusätzlichen Unterricht erhielten [d.h. längere Unterrichtszeit durch das Experimentieren], fallen (...) gegenüber den Vergleichsgruppen nicht auf“, sie erreichen im Rahmen seiner Untersuchungen kein besseres kognitives Ergebnis. Daher wurde in der Hauptuntersuchung auf die Kontrollgruppe „Labor+Zeit“ verzichtet (vgl. Kap. V 6).

### **2.2.3 Die Variable Vorwissen**

Die Analyse des vorhandenen Wissens im Bereich Wissenserwerb ergab zwischen den einzelnen Treatment-Gruppen der Voruntersuchung signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test  $p < 0,001$  ( $N = 143$ ), vgl. im Detail Anh. 31). Deshalb wurde zum einen für die Hauptuntersuchung eine Lehrerbefragung zur Einschätzung des inhaltlichen Bezugs der Items auf vorhandenes Vorwissen oder projektbezogenes Wissen geplant (vgl. Kap. V 4.3.1).

Zum anderen ergab die Anwendung des klassifizierenden probabilistischen Modells der latenten Klassenanalyse, dass bei den Schülern qualitative Personenunterschiede im Hinblick auf den Vorwissensbezug des Wissens identifizierbar waren. Es ließ sich eine latente Klasse der „Vorwissen-Köner“ mit einer höheren Lösungswahrscheinlichkeit für spezifische Vorwissen-Items identifizieren. Sie lässt sich von den beiden anderen latenten Klassen, zum einen den „Viel-Könnern“ mit hoher Lösungswahrscheinlichkeit für Vorwissen- und projektbezogene Items, zum anderen den „Wenig-Könnern“ mit allgemein niedrigen Lösungswahrscheinlichkeiten abtrennen (vgl. im Detail Anh. 30.2.). Damit bot sich für die Hauptuntersuchung die Möglichkeit an, auch auf dieser Ebene erneut den inhaltlichen Bezug des Subtests Wissenserwerb zu klären (vgl. unten Kap. V 4.3.2.2).

### 2.2.4 Einschätzung des Pretest-Effekts

Zur Einschätzung eines möglichen Pretest-Effektes (Bortz & Döring 1995, S. 472) – auch als „memory carry-over“ bezeichnet (McNemar 1963, S. 149) - wurden die Items zum Wissenserwerb dreimal einer externen Kontrollgruppe zur Beantwortung vorgelegt, ohne dass eine unterrichtliche Beeinflussung stattfand. Die Auswertung auf der quantitativen Ebene ergab keinen signifikanten Unterschied über die drei Testzeitpunkte (Friedman-Test,  $p = 0,638$ ). Da allerdings die qualitative Analyse auf mögliche Lernvorgänge hinwies, wurde in die Hauptuntersuchung erneut eine Pretest-Kontrolle einbezogen (vgl. im Detail Anh. 32).

## 3. Stichprobe

Zunächst stellt sich die Frage nach dem Umfang der Stichprobe. Im Vergleich zur Voruntersuchung lässt eine Erhöhung der Probandenzahlen auf  $\geq 60$  für jede Teilgruppe der Untersuchung die Aufdeckung zumindest mittlerer Effekte für alle wesentlichen Signifikanztests bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  erwarten (Bortz & Döring 1995, S. 575 f.).

An der Hauptuntersuchung im Frühjahr 2004 nahmen insgesamt 314 Schüler der 12. Jahrgangsstufe aus 19 Biologie-Leistungskursen teil. Die Daten von 242 Teilnehmern, die an allen drei Tests teilnahmen, konnten für die Auswertung genutzt werden (Rücklaufquote 77,1 %). Für den Bereich Wissenserwerb erhöhte sich die Anzahl der Probanden auf 363, da wegen des identischen Tests die Daten der Voruntersuchung mit verwendet werden konnten. Die Schüler rekrutierten sich aus insgesamt 26 Schulen aller gymnasialen Schulzweige (Hauptuntersuchung allein 17 Schulen), die mit Ausnahme der Schulen für die externe Kontrollgruppe alle in Oberfranken liegen. Das Durchschnittsalter betrug 18,0 Jahre. Aufgrund des Wahlverhaltens für den Leistungskurs Biologie waren ca.  $\frac{3}{4}$  der Probanden Mädchen und ca.  $\frac{1}{4}$  Jungen, dabei unterscheiden sich die einzelnen Untersuchungsgruppen des Designs (vgl. Kap. V 6.) nicht in der Geschlechterverteilung (exakter Fisher-Test  $p = 0,092$ , vgl. im Detail Anh. 33 1. bis 3.). Eine genauere Charakterisierung der Schüler bzw. der Schulen ist nicht möglich, da die Genehmigung der Studie durch das Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultus mit der Auflage verbunden war, dass unter Zusicherung vollständiger Anonymität keine

Rückschlüsse auf einzelne Schulen, Schüler, Eltern oder Lehrkräfte möglich sind (vgl. Anh. 34).

Die Auswahl der Stichprobe aus der Grundgesamtheit der Schüler als zugrunde liegende Population entscheidet über die Generalisierbarkeit der gewonnenen Ergebnisse anhand schließender statistischer Verfahren. Voraussetzung ist dafür nach Diehl & Arbinger (2001, S. 2 ff.) „die Ziehung einer Zufallsstichprobe“. Dabei sind die Ebenen der Kursauswahl bzw. der Zuordnung der Schüler zu den einzelnen Untersuchungsgruppen zu unterscheiden. Eine Zufallsstichprobe war aus organisatorischen Gründen auf beiden Ebenen nicht möglich: Nach der Genehmigung durch den jeweiligen Schulleiter meldeten die Kursleiter von sich aus jeweils ganze Kurse für den experimentellen Projekttag an; entsprechendes galt für die mit Studie verbundenen nicht experimentellen Untersuchungsgruppen. Dies verhindert allerdings nach Diehl & Arbinger (2001, S. 8) nicht, dass gefundene Sachverhalte in einer Stichprobe „plausibel“ auf eine Population übertragbar sind; nur der „Grad der Sicherheit bzw. Unsicherheit (...) lässt sich bei dieser Art des Schließens (...) theoretisch-mathematisch nicht herleiten“.

Durch die fehlende Randomisierung ist die Studie als quasi-experimentell einzustufen (Cook & Campell 1979, S. 95). Dadurch wird die Validität der empirischen Untersuchung - der „Gültigkeitsanspruch der Untersuchungsbefunde“ (Bortz & Döring 1995, S. 52 ff.) - beeinflusst. Hierbei müssen die externe oder äußere und die interne bzw. innere Gültigkeit getrennt beurteilt werden. Beide beeinflussen sich jedoch nach Bortz & Döring (1995, S. 52) i.d.R. wechselseitig und zwar gegenseitig, so dass jede Untersuchung „sich (...) mit einer Kompromißlösung begnügen muß“.

- **Interne Validität:**

Die interne Validität, d.h. die eindeutige Interpretierbarkeit bzw. die Anzahl plausibler Alternativerklärungen für die gewonnenen Ergebnisse, ist bei quasi-experimentellen Studien mit natürlichen Gruppen, in der vorliegenden Untersuchung den einzelnen Leistungskursen, verringert, da personenbezogene Störvariablen nicht durch eine Randomisierung neutralisiert werden. Um die interne Validität zu erhöhen, werden diese Gruppen möglichst konstant gehalten: ausschließlich Leistungskurs-Schüler, Projekttag im Anschluss an das erste Kurshalbjahr, also nur 12. Jahrgangsstufe. Eine weitere Verbesserung wird nach

Bortz & Döring (1995, S. 520 ff.) durch das angewandte Kontrollgruppen-Design mit mehr als zwei Vergleichsgruppen und die Verwendung von drei Messzeitpunkten erreicht. (vgl. Kap. V 6.).

- **Externe Validität:**

Die externe Validität, d.h. die Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse, steigt mit wachsender Natürlichkeit der Untersuchungsbedingungen und zunehmender Repräsentativität der Stichprobe (Bortz & Döring 1995, S. 52 ff.)

Die Untersuchung des Unterrichts in einem Lernort Labor bzw. dem schulischen Umfeld im Rahmen einer Kontrollgruppe lässt sich als Felduntersuchung charakterisieren, die ein hohes Maß an Realitätsnähe besitzt und damit in einer vom Untersucher nur wenig beeinflussten Umgebung stattfindet. Damit wird die externe Validität erhöht.

Unter Repräsentativität wird verstanden, dass „die untersuchte Stichprobe hinsichtlich der Verteilung wichtiger Merkmale (...) für die Population ‚repräsentativ‘, d.h. gleich oder zumindest sehr ähnlich“ ist (Diehl & Arbinger 2001, S. 7). Zur Überprüfung der Repräsentativität wurde sowohl beim Bayerischen Staatsministerium für Unterricht und Kultus als auch beim zuständigen Ministerialbeauftragten für die Gymnasien in Oberfranken nach Vergleichsdaten für die bayerischen bzw. oberfränkischen Leistungskurs-Schüler im Fach Biologie nachgefragt. Aufgrund fehlender Erfassung wurden nur Daten für Oberfranken zur Verfügung gestellt, und zwar im Hinblick auf das Geschlecht, den vorher besuchten Schulzweig und das als zweiter Leistungskurs belegte Fach. Die ebenfalls gewünschten Daten zum Alter und zu den schriftlichen Leistungen im ersten Kurshalbjahr wurden aus Datenschutzgründen nicht mitgeteilt. Der Vergleich der Stichprobe und der Population der oberfränkischen Schülern ergab, dass die Repräsentativität in Bezug auf die oberfränkischen Kollegiaten als relativ hoch einzuschätzen, denn die Verteilung der Merkmale Geschlecht, Schulzweig (MNG vs. nicht-MNG) und zweiter Leistungskurs (MN-Bereich vs. nicht-MN-Bereich) innerhalb der Stichprobe und der Population weicht nicht signifikant von der zu erwartenden Verteilung ab (exakter Fisher-Test: Geschlecht  $p = 0,110$ , Schulzweig  $p = 0,274$ , zweiter Leistungskurs  $p = 0,113$ , Details in Anh. 35). Zusätzlich umfasst die Stichprobe für jeden Subtest ca. 1/3 der genannten Grundgesamtheit (Tab. 13). Somit erscheint es gerechtfertigt, die

Ergebnisse als übertragbar für die entsprechenden Schüler in Oberfranken anzusehen und erhöht ebenfalls die externe Validität der Studie.

**Tab. 13: Anteil der Probanden an den zugrunde liegenden Populationen der oberfränkischen bzw. bayerischen Schüler mit einem Biologie-Leistungskurs (Subtests Akzeptanz u. Interesse Jahrgang 2003/04, Subtest Wissenserwerb Jahrgänge 2002/03 u. 2003/04, berechnet nach pers. Mitteilung Kappl 2004 (Ministerialbeauftragter für die Gymnasien in Oberfranken) und Städele (StUK))**

Subtest	Akzeptanz	Wissenserwerb	Interesse
Probandenzahl	176	337	198
Anteil an der zugrunde liegenden Population (%)			
Oberfranken	31,3	33,5	35,2
Bayern	3,4	3,4	3,8

Auf der Ebene der bayerischen Schüler ist keine Übertragbarkeit mehr gegeben. Zum einen standen keine Vergleichsdaten zur Beurteilung der Repräsentativität zur Verfügung (vgl. oben), zum anderen ist der Anteil der Probanden gering, liegt jedoch – soweit überhaupt angegeben – im üblichen Bereich fachdidaktischer Studien (vgl. z.B. Leibold 1997, S. 123: 5,0 %, Wisniewski 1994, S. 119: 3,1 %, bzw. ohne Angabe Füller 1992 u. Wilde 2004). Damit können die Ergebnisse – wie in anderen empirischen Studien innerhalb der Fachdidaktik auch – „nicht auf alle bayerischen Kollegiaten von Biologie-Leistungskursen (...) übertragen oder gar verallgemeinert werden“ (Leibold 1997, S. 124).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass im Rahmen der organisatorischen Vorgaben versucht wurde, ein Höchstmaß an interner und externer Validität zu erreichen.

#### **4. Erhebungsinstrument Schüler-Fragebogen**

Das wesentliche methodische Instrument der Studie ist ein Schüler-Fragebogen, der nach Lienert (1969, S. 7) als „wissenschaftliches Routineverfahren zur Untersuchung eines oder mehrerer empirisch abgrenzbarer Persönlichkeitsmerkmale mit dem Ziel einer möglichst quantitativen Aussage über den relativen Grad der individuellen Merkmalsausprägung“ charakterisiert werden kann. Das Ergebnis der Untersuchung werden demnach persönliche Merkmale der Probanden sein, die durch mathematisch-statistische Verfahren abzusichern sind und damit Aussagen zu den getesteten Konstrukten ermöglichen.

## 4.1 Überblick

Für die Ziele der Untersuchung bzw. für die daraus abgeleiteten Hypothesen (vgl. Kap. I. 1.2 u. VI 2.) bezogen auf das Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik an der Universität Bayreuth gibt es keine „standardisierten (geeichten)“ Tests. Deshalb wurde ein nichtstandardisierter oder informeller Test (Lienert 1969, S. 21) aus drei Subtests entwickelt (vgl. Tab. 14 und Kap. V 4.2, 4.3 u. 4.4), die im Hinblick auf die Konstrukte Akzeptanz und Interesse jeweils als Persönlichkeitstest und im Bereich Wissenserwerb als Leistungstest mit einem vorgegebenen Beurteilungsmaßstab (Bortz & Döring 1995, S. 175 f.) zu charakterisieren sind. Zusätzlich enthält der Schülerfragebogen noch folgende Abschnitte (vollständige Darstellung in den Anh. 36 bis 38):

- **Instruktionale Einleitung:**

Sie enthält nach Rost (1996, S. 80 f.) zu Anfang eine „Aufklärung über den Gegenstand der Befragung“, um die notwendige „Testmotivation“ zu gewährleisten, weiterhin „Bearbeitungshinweise“, speziell auch für den Fall, dass „man ein Item nicht beantworten will“ sowie explizite Aufforderungen zur wahrheitsgemäßen Beantwortung und nicht im Hinblick auf eine möglicherweise vom Kurs- oder Projektleiter erwartete Antwort. Damit soll einer Testverfälschung im Sinne einer „Selbstpräsentation“ und/oder „sozialen Erwünschtheit“ (Rost 1996, S. 46) vorgebeugt werden.

- **Zusicherung der Anonymität:**

Sie ist verknüpft mit einer Codierung über das Geburtsdatum des Schülers und den beiden Anfangsbuchstaben seiner Mutter, um eine eindeutige Zuordnung der einzelnen Testzeitpunkte zu den Probanden zu gewährleisten.

- **Soziodemographische Daten:**

Erfasst werden das Geschlecht, das Alter (über die Angaben zur Codierung) und der zweite belegte Leistungskurs. Zusätzlich werden gemäß der Vorgaben von Hofstein & Lunetta (1982, S. 204 ff., 2004, S. 48) die vorhandenen persönlichen und unterrichtlichen Experimentiererfahrungen (über Schüler- bzw. Demonstrationsexperimente) und der bisherige Schulzweig erfasst, da nur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig Schülerübungen in den Fächern Chemie und Physik vorgeschrieben sind, weiterhin über die Klausurergebnisse im



ersten Kurshalbjahr der bisherige Leistungsstand der Schüler sowie die Bekanntheit des zentralen Unterrichtsmediums, der Powerpoint-Präsentation.

**Tab. 14: Überblick über die einzelnen Subtests des informellen Tests der Studie (genauere Erläuterung in den Kap. V 4.2, 4.3, u. 4.4)**

Subtest	Anzahl der Item-Typen		
	Rating-Skalen	Multiple-Choice-Aufgaben	Freie Aufgabenbeantwortung
Akzeptanz	11	-	4
Wissenserwerb	-	15	1
Interesse	12	-	-

Der Fragebogen wird im Rahmen eines Messwiederholung-Verfahrens dreimal eingesetzt: Die Planung sah vor, den Vortest sieben Tage vor dem Unterricht, den Nachtest I unmittelbar nach dem Unterricht und den Nachtest II sechs Wochen später durchführen zu lassen. Aufgrund von organisatorischen Gegebenheiten an den jeweiligen Schulen und/oder Ferienzeiten fanden der Vortest im Mittel zehn Tage vor dem Nachtest I und der Nachtest II 46 Tage später als die Veranstaltung statt (Details im Anh. 39).

Die soziodemographischen Daten werden nur zum ersten Messzeitpunkt im Vortest erfasst, die einzige Ausnahme ist das Item zur Nutzung von Powerpoint-Präsentationen, das auch im Nachtest erfragt wurde. Die hohe Korrelation zwischen beiden Antworten (Spearman-Rho  $r = 0,816$ ,  $N = 201$ ) bei 61,2 % übereinstimmenden Antworten spricht für die Glaubwürdigkeit der Schüler und damit für die Vermeidung einer Testverfälschung. Gleichzeitig dient dieses Item auch zur Beurteilung eines möglichen Hawthorne-Effekts: Ein neues Unterrichtsmedium wird eher positiv eingeschätzt (Draschoff 2002, S. 157). Powerpoint-Präsentationen stellen für die Mehrheit der Schüler ein neues Medium dar, knapp 70 % kennen es aus dem bisherigen Unterricht im Leistungskurs Biologie gar nicht oder kaum (vgl. im Detail Anh. 40); deshalb wird es bei allen Unterrichtsgruppen als zentrales Unterrichtsmittel eingesetzt (vgl. Kap. III 2.2), um einen vergleichbaren Effekt zu erreichen.

Die Daten zur Akzeptanz werden nur in den beiden Nachtests erfasst, dabei wird bei den Items des Nachtests II jeweils das Wort „rückblickend“ eingefügt bzw. die Zeitangabe „heute“ durch „damals“ ersetzt. Die Subtests zum Interesse und zum Wissenserwerb sind zu allen drei Messzeitpunkten inhaltlich und formal identisch. Die vier Testabschnitte werden in der genannten Abfolge im Fragebogen

angeordnet, so dass der Leistungstest am Ende zu bearbeiten ist (vgl. Rost 1996, S. 74). Zur Vermeidung von Positionseffekten (Bortz & Döring 1995, S. 514) wird die Reihenfolge der Items innerhalb der Subtests sowie vorgegebener Teilantworten innerhalb eines Items von Testzeitpunkt zu Testzeitpunkt jeweils verändert.

Die verschiedenen Itemtypen des Fragebogens (vgl. oben Tab. 14) sollen im Folgenden kurz zusammengefasst werden:

- „Items mit Antwortvorgaben“ (Bortz & Döring 1995, S. 194) oder „gebundene Aufgabenbeantwortung“ (Lienert 1969, S. 25):  
Verschiedene Varianten dieses Typs kommen zum Einsatz. Das Geschlecht wird durch ein „Item mit vorgegebener Alternativantwort“ erfasst. „Selbsteinschätzungs-Aufgaben“ (Bortz & Döring 1995, S. 196) oder „Stufen-Antwort-Aufgaben“ (Lienert 1969, S. 27) mit Rating-Skalen (Likert-Skalen), deren verbale Charakterisierung als äquidistant gilt (Bortz & Döring 1995, S. 164 u. S. 203) kommen in den Subtests Akzeptanz und Interesse zum Einsatz. Daneben werden so die Experimentiererfahrung sowie die Bekanntheit von Powerpoint-Präsentationen erfragt. „Multiple-Choice-Aufgaben“ (Bortz & Döring 1995, S. 196) oder „Mehrfach-Wahl-Aufgaben“ (Lienert 1969, S. 26) werden im Subtest Wissenserwerb und zur Erfassung des Schulzweigs verwendet.
- „Items mit freier Aufgabenbeantwortung“ (Lienert 1969, S. 28):  
Von diesem Itemtyp kommen Aufgaben mit „halboffener Beantwortung“ (Bortz & Döring 1995, S. 194) oder „Ergänzungsaufgaben“ (Lienert 1969, S. 28) als „Einfachantworten“ oder als „Reihenantworten“ (Bortz & Döring 1995, S. 195) bei der Erfragung des Leistungsstandes, im Subtest Akzeptanz und bei einem Item im Subtest Wissenserwerb zum Einsatz, bei letzterem ist die Objektivität gemäß der Vorgabe von Bortz & Döring (1995, S. 194) durch nur eine richtige Antwort gewährleistet. Nach Lienert (1969, S. 28) ist diese Form die einzige, die als freie Aufgabenbeantwortung in standardisierten Tests zulässig ist.

## 4.2 Subtest Akzeptanz

Der Subtest Akzeptanz hat zum Ziel, basierend auf den oben dargestellten theoretischen Überlegungen (vgl. Kap. II, 3.1.2), die einzelnen Aspekte von Akzeptanz im Anschluss an die Unterrichtsveranstaltung zu erfassen.

### 4.2.1 Testkonstruktion

Zur Testkonstruktion wurden folgende Operationalisierungen vorgenommen (vgl. Tab. 15 und im Detail Anh. 38).

**Tab. 15: Items des Subtests zur Akzeptanz des Experimentalunterrichts im Nachtest**  
(Beantwortung der Items mit vorgegebener Alternativantwort über eine Rating-Skala mit den Vorgaben ‚gar nicht – kaum – mittelmäßig – ziemlich – außerordentlich‘ und der Alternative ‚kann ich nicht beurteilen‘; vgl. im Detail Anh. 38)

Item	Formulierung	Item-Typ
		Item mit
1	Was hat Ihnen bei der Veranstaltung heute am besten gefallen?	Reihenantwort
2	Was hat Ihnen bei der Veranstaltung heute am wenigsten gefallen?	
3	Wie bewerten Sie im Punktesystem der Kollegstufe die heutige Veranstaltung zur Bio-/Gentechnik:	Einfachantwort
4	die Erklärungen des Projektleiters bei der heutigen Veranstaltung:	
5	Wie gerne würden Sie einen weiteren Tag an einer solchen Veranstaltung teilnehmen?	vorgegebener Alternativantwort
6	Wie sehr haben Sie die eingesetzten Versuchsvorschriften verunsichert?	
7	Wie viel Spaß hat Ihnen die heutige Veranstaltung gemacht?	
8	Wie bekannt war Ihnen das heute dargebotene Wissen?	
9	Wie schwierig war es für Sie, die einzelnen Arbeitsschritte durchzuführen?	
10	Wie neu waren für Sie die heutigen Beispiele im Unterricht?	
11	Wurden die einzelnen Experimente für Sie zu schnell durchgeführt?	
12	Wie deutlich haben Sie heute einen Bezug zu Ihrem bisherigen Wissen erkannt?	
13	Wie schwierig war es für Sie heute, dem Unterricht zu folgen?	
14	Inwieweit waren Ihnen die heute vorgestellten Experimente unbekannt?	
15	Durch die heutige Veranstaltung habe ich mehr als im bisherigen Unterricht über Gentechnik gelernt.	

Die ganzheitliche Wahrnehmung wird über zwei Items mit Reihenantworten als Fragen nach zwei Angaben zum besonderen Gefallen bzw. Missfallen (Item 1 u. 2) und ein Item mit Einfachantwort zur notenmäßigen Bewertung der Veranstaltung (Item 3) erfasst. Die grundsätzlich affirmative Haltung sowie die kognitive und affektive Zustimmung werden über Selbsteinschätzungs-Aufgaben nach der Zustimmung zu einem wiederholten Besuch (affirmative und affektive Ebene, Item 5), dem Spaß an der Veranstaltung (affektive Ebene, Item 7) und der Einschätzung des Unterrichtserfolgs (kognitive Ebene, Item 15) erfragt.

Der objektvermittelte Kontext ist über die konkrete Unterrichtsebene zugänglich. Bei Fragen nach deren Billigung ist zu beachten, dass eine experimentelle und eine nicht experimentelle Unterrichtsvariante verglichen werden. Dies bedingt, einzelne Unterrichtsaspekte als vergleichbar anzusehen, deren inhaltliche Validität über eine wiederholte Expertenbefragung (vgl. oben Kap. V 1.1) abgesichert wurde. Der konkrete Unterricht wird erfasst über die Bewertung der Versuchsvorschriften bzw. der eingesetzten Hilfsmittel (Item 6), der Schwierigkeit, einzelne Arbeitsschritte durchzuführen bzw. den Unterrichtsmitteln zu folgen (Item 9), der Arbeitszeit für die einzelnen Experimente bzw. Unterrichtsschritte (Item 11) und der Schwierigkeit dem Unterricht als ganzes zu folgen (Item 13). Durch ein Item mit Einfachantwort wird eine Bewertung der unterrichtlichen Erklärungen erfragt (Item 4). Alle bisherigen Items wurden aus der Voruntersuchung unverändert übernommen.

Als subjektvermittelter Kontext werden die bisherigen Unterrichtserfahrungen im Bereich Gentechnik über den Neuigkeitswert der Unterrichtsinhalte allgemein (Item 8), der vorgestellten Beispiele und Experimente (Item 10 u. 14) und über den Bezug zum bisherigen Wissen (Item 12) erhoben. Diese Items wurden für die Hauptuntersuchung neu formuliert.

Zur Vermeidung von Antworttendenzen (Ja- oder Nein-Sage-Tendenz) wurde die Schlüsselrichtung ausbalanciert (Bortz & Döring 1995, S. 216), fünf der elf Selbsteinschätzungs-Aufgaben sind so formuliert, dass eine Itemverneinung für das Vorhandensein der Akzeptanz spricht (vgl. Anh. 41, 1.). Um keine Einschätzungen zu erzwingen, wurde zusätzlich die Antwortvorgabe „kann ich nicht beurteilen“ angeboten, von den Schülern jedoch kaum angenommen (nur 8 von insgesamt 3336 Angaben).

## **4.2.2 Analyse der Gütekriterien**

### **4.2.2.1 Auswertungsobjektivität**

Die neun Selbsteinschätzungs-Aufgaben und die zwei Items mit Einfachantworten unterscheiden sich im Hinblick auf die Auswertungsobjektivität von den beiden Items mit Reihenantworten zum besonderen Gefallen bzw. Missfallen. Bei ersteren entfällt die Überprüfung der Auswertungsobjektivität, da die Items mit Rating-Skalen die potentiellen Antworten der Probanden vorgeben und bei den Items zur Erfragung

einer Bewertung die angegebenen Punkte gemäß §51 GSO (StUK 2000, 2, S. 97) in die übliche Notenskala umcodiert werden. Die Items mit Reihenantworten besitzen einen offeneren Charakter. Jeweils maximal zwei Angaben der Schüler (bei mehr Angaben nur die beiden ersten) werden zur Auswertung gemäß der in der Voruntersuchung getesteten Kategorien nach den Vorgaben zur induktiven Kategorienbildung (Mayring 1997, S. 46 ff u. 74 ff.) in zwei Stufen kategorisiert (vgl. beispielhaft Tab. 16 für das „besondere Gefallen“; die übrigen Kategorien sowie die Kategorisierung zum „besonderen Missfallen“ sind in Anh. 42 zusammengefasst).

**Tab. 16: Beispiele zur zweistufigen Kategorisierung des Items „Was hat Ihnen bei der Veranstaltung heute/damals am besten gefallen?“** (Die Ziffern zeigen die Codierung der Fragebögen an, für die vollständige Tab. vgl. Anh. 42)

Kategorie	Erläuterung	Beispiele	Übergeordnete Kategorie
Exemplarische Beispiele	Ein exemplarisches Beispiel aus dem Unterricht wird genannt.	Das grün leuchtende Kaninchen (4091984114); Bilder von grünleuchtenden Tieren (2009198585)	Fachlicher Bezug
Ethische Komponente	Es wird auf die ethische Diskussion Bezug genommen.	Abwägen der ethischen Aspekte (1101985199); Ausführungen zu Naturwissenschaft – Ethik (4061986131)	Ethischer Bezug
Spezielle Beurteilung Erklärungen	Zu den Erklärungen des Versuchsleiters werden positive Eigenschaften genannt.	Die verständlichen Erklärungen (4091984114); Die genaue Erklärung (170219862120)	Lehrerbezug
Spezielle Medien	Einzelne Medien werden direkt angesprochen.	Präsentation der Moleküle (1101198685); Powerpoint-Präsentation (6081986914)	Methodenbezug
Durchführung Experimente	Allgemein bzw. ohne weitere Differenzierung wird auf das Experimentieren Bezug genommen.	Versuche allgemein (17021986131); Experimente (3021986131)	Experimentalbezug
Kognitive Erfolgseinschätzung	Der eigene Lernerfolg wird positiv eingeschätzt.	Dass Zusammenhang klarer wurde (100719861815); Neue Erkenntnisse gewonnen (31219841921)	Schülerbezug
Gesamturteil Veranstaltung	Es wird ohne Differenzierung auf die gesamte Veranstaltung Bezug genommen	Alles (29081986131); Gute Atmosphäre (2112198438)	Gesamtbezug
Universitäres Umfeld	Die Universität bzw. deren Teilbereiche werden hervorgehoben.	Einblick in die Uni BT (15111985721); Mensa (14061986111)	Lernortbezug

Für die weitere statistische Analyse ist es dabei notwendig, Doppelnennungen zusammenzufassen. In Anbetracht der geringen Anzahl dieser Fälle (37 von 851 Angaben = 4,3 %) erscheint dieses Vorgehen akzeptabel.

Die Auswertungsobjektivität dieser Kodierungen wird mit dem Übereinstimmungskoeffizient Cohens Kappa ( $\kappa$ ) überprüft, der den Grad der Übereinstimmung nominal skalierten Daten von zwei unabhängigen Beurteilern als

Wert zwischen 0 und 1 angibt (Cohen 1968, S. 214). Der  $\kappa$ -Koeffizient ist dem „einfachen Übereinstimmungsmaß“ als „Anteil der übereinstimmenden Beurteilungen an der Gesamtzahl der Vergleiche“ vorzuziehen, da bei diesem Maß zufällig übereinstimmende Zuordnungen nicht berücksichtigt werden (Zöfel 2002, S. 168). Für jede Stufe der Kategorisierung wird jeweils eine Person ausgewählt (Mitarbeiter am Lehrstuhl Didaktik der Biologie), die an der Untersuchung nicht beteiligt ist. Zur Bestimmung der Kappa-Werte (vgl. Tab. 17) erschien eine Zufallsstichprobe von 48 Fragebögen (= 10 % von 484) als ausreichend, diese wurde randomisiert für beide Items gezogen. Fragebögen mit der Kategorie „keine Angabe“ wurden nicht berücksichtigt, da eine Nicht-Antwort keinen subjektiven Spielraum bei der Beurteilung zulässt und somit der Kappa-Wert künstlich erhöht würde.

**Tab. 17: Auswertungsobjektivität der zweistufigen Kodierung zu den Items mit Reihenantworten**

Item	Kategorisierungsstufe	Cohens Kappa	Anzahl der überprüften Kategorien
„Besonderes Gefallen“	1	0,78	52
	2	1,0	52
„Besonderes Missfallen“	1	0,87	54

Alle Werte liegen über den Grenzwerten von 0,75 für eine „(sehr) hohe Urteilerkonkordanz“ (Diehl & Staufenbiel 2002, S. 161) bzw. von 0,70 für eine „gute Übereinstimmung“ (Bortz & Döring 1995, S. 254). Damit kann die Auswertungsobjektivität für beide Items als gut bis sehr gut beurteilt werden.

#### **4.2.2.2 Dimensionsreduktion und Reliabilitätsanalyse**

Die Reliabilitäts- oder Itemanalyse überprüft anhand verschiedener Kriterien die Brauchbarkeit von einzelnen Items für einen Test (Zöfel 2002, S. 231). Da die Voruntersuchung ergeben hat, dass drei Faktoren für die Akzeptanz der Unterrichtsveranstaltung verantwortlich sind (vgl. oben Kap. V, 2.2.1), ein affektiver, ein instrumenteller und ein vorwissenbezogener Faktor, muss sie mit einer entsprechenden Dimensionsreduktion über Faktorenanalysen verknüpft werden, die die Dimensionalität eines Testes überprüfen (Lienert 1969, S. 490). Bedingt durch die Neuformulierung der Items zum dritten Faktor hat die Studie in diesem Bereich weiterhin explorativen Charakter. Deshalb erfordert der mehrdimensionale Subtest eine schrittweise Analyse, die im Folgenden zusammengefasst wird.

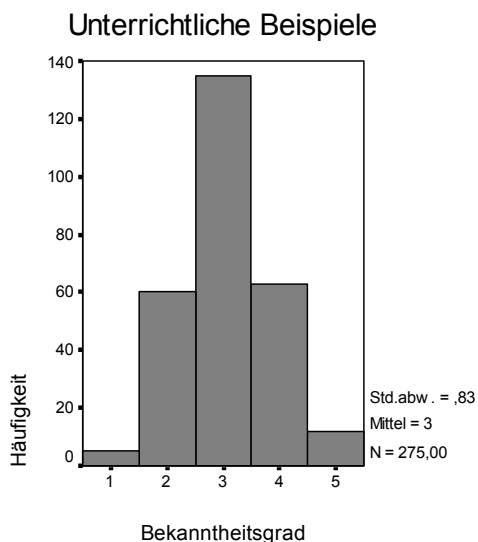
Der erste Schritt ist die Faktorenanalyse des Nachttests, Sie untergliedert den Subtest Akzeptanz in drei homogene Teilttests (vgl. Lienert 1969, S. 491), die sich den bekannten Faktoren der Voruntersuchung zuordnen lassen. Die gewonnene Faktorenstruktur ist hinreichend stabil ( $FS = 0,91$ , somit über dem Grenzwert von  $0,90$  (Bortz 1999, S. 507) und erfüllt weitere Kriterien, die nach Brosius (1989, S. 141 ff.) für eine sinnvolle Interpretation Voraussetzung sind, bspw. eine gute Eignung der Variablenauswahl für die Faktorenanalyse (Kaiser-Meyer-Olkin-Wert  $0,73$ , vgl. im Detail Anh. 41, 2.). Damit ist die Grundlage für die folgenden Berechnungen zur Trennschärfe gegeben.

Der korrigierte Trennschärfekoeffizient dient „als wichtigstes Kriterium zur Beurteilung der Brauchbarkeit eines Items“ (Zöfel 2002, S. 235). Er gibt an, wie gut ein Item die Probanden im Hinblick auf die Höhe der erfassten Akzeptanz trennt. Die Bestimmung ergibt, dass die Werte für die drei Items zum Bekanntheitsgrad der Unterrichtsinhalte allgemein und der vorgestellten Beispiele und Experimente, die den Faktor Vorwissenbezug definieren, nicht signifikant sind und deutlich unter der von Weise (1975, S. 219) genannten Grenze von  $0,3$  liegen (Tab. 18, vgl. im Detail Anh. 41, 3.2).

**Tab. 18: Korrigierte Trennschärfekoeffizienten der drei Items zum Vorwissenbezug im Subtest Akzeptanz (Nachttest)**

Bekanntheitsgrad		Dargebotenes Wissen	Unterrichtliche Beispiele	Experimente
Spearman-Rho	Korrelationskoeffizient	-0,084	0,024	0,015

Dies bedeutet, dass die Beantwortung dieser Items nicht im Zusammenhang mit der Höhe der erfassten Akzeptanz steht. Eine mögliche Ja-sage- (Aquieszenz) oder Nein-sage-Tendenz als Antwortverhalten scheidet aus, es liegt für alle Items eine „Tendenz zur Mitte“ vor (Rost 1996, S. 68, vgl. beispielhaft Abb. 19 u. die beiden anderen Items im Anh. 41, 3.2). Dies bedeutet, dass der vorwissenbezogene Faktor keinen Einfluss auf die Höhe der Gesamtakzeptanz der unterrichtlichen Veranstaltung hat. Daher werden diese Items aus der Skala genommen und nicht weiter berücksichtigt.



**Abb. 19: Beispielhafte Antworttendenz eines vorwissenbezogenen Items (Subtest Akzeptanz Nachtest, Skalierung: 1 gar nicht, 2 kaum, 3 mittelmäßig, 4 ziemlich, 5 außerordentlich)**

Die folgende Trennschärfeanalyse bezogen auf die verbleibenden zehn Items der zweifaktoriellen Skala ergibt, dass das Item zur Erfassung der Verunsicherung im Unterricht ebenfalls nicht genügend trennscharf für eine Auswertung ist (Spearman-Rho  $r = 0,114$ ,  $p = 0,071$ , vgl. im Detail Anh. 41, 4.). Mit den restlichen neun Items wird nun die endgültige Analyse der Skala vorgenommen.

**Tab. 19: Zweifaktorielle Struktur des Subtests Akzeptanz (Details im Text)**

Item	Ladung auf Faktor/ Komponente			
	Affektive Bewertung		Bewertung des instrumentellen Handelns	
	NT I	NT II	NT	NT II
Weiterer Tag	0,74	0,62		
Spaß Veranstaltung	0,74	0,61		
Bewertung Veranstaltung	0,68	0,83		
Bewertung Erklärungen	0,50	0,71		
Mehr als im üblichen Unterricht gelernt	0,50			0,47
Erkennen eines Bezugs zum bisherigen Wissen	0,44			0,47
Keine Schwierigkeit, den Unterrichtsmitteln zu folgen			0,76	0,82
Genügend Zeit für die Unterrichtsschritte/Experimente			0,74	0,74
Keine Schwierigkeit, dem Unterricht zu folgen			0,64	0,70

Die gewonnenen Faktorenstrukturen für den Nachtest I und II (Tab. 19) erfüllen die oben bereits erwähnten Beurteilungskriterien (vgl. im Detail Anh. 43, 1. u. 2.). Der Faktor affektive Bewertung umfasst die Bereitschaft zur Wiederholung der Unterrichtsveranstaltung, die Einschätzung des erlebten Spaßes, eine Bewertung der Gesamtveranstaltung und der Erklärungen des Projektleiters sowie im Nachtest die Selbsteinschätzung des Lernerfolgs und der Anknüpfung an das vorhandene



Wissen. Der instrumentelle Faktor bewertet das eigene unterrichtliche Handeln der Schüler. Im Nachtest II ist diese Beurteilung mit den genannten Selbsteinschätzungen verknüpft. Verdeutlicht wird der Faktorenwechsel der beiden Items auch durch die niedrigen Faktorladungen, d.h. die Bedeutung der zwei Items für die Faktoren ist relativ gering (vgl. Diehl & Kohr 1999, S. 345). Deshalb wird dem Vorschlag von Bortz & Döring (1995, S. 201) gefolgt, Items, die nicht zu einem der beiden Testzeitpunkte wenigsten Ladungen  $\geq 0,6$  besitzen, für eine Auswertung nicht zu berücksichtigen. Eine erneute Faktorenanalyse der verbleibenden sieben Items bestätigt die Eignung der Skala (vgl. im Detail Anh. 43, 3.) Die relative Stabilität der Faktorladungen im Vergleich mit den Werten der Voruntersuchung (Tab. 20) spricht nach Finke (1998, S. 81) für die Konstruktvalidität des Subtestes Akzeptanz. Die beiden Faktoren erklären zusammen über 50 % der Gesamtvarianz (Nachtest I 52,7 %, Nachtest II 56,6 %), wobei auf jeden Faktor jeweils über 20 % der Varianz fallen. Damit sind diese nach Lienert (1969, S. 545) als beachtenswert einzustufen.

**Tab. 20: Vergleich der Faktorladungen des Subtestes Akzeptanz (Skala mit sieben Items) mit den Werten der Voruntersuchung (Scharfenberg & Klautke 2003, S. 38)**

Item	NT I		NT II	
	Vorunter-suchung	Studie	Vorunter-suchung	Studie
Weiterer Tag	0,59	0,76	0,73	0,60
Spaß Veranstaltung	0,78	0,73	0,79	0,60
Bewertung Veranstaltung	0,82	0,73	0,83	0,84
Bewertung Erklärungen	0,59	0,52	0,67	0,72
Keine Schwierigkeit, den Unterrichtsmitteln zu folgen	0,76	0,76	0,64	0,73
Genügend Zeit für die Unterrichtsschritte/Experimente	0,62	0,76	0,74	0,80
Keine Schwierigkeit, dem Unterricht zu folgen	0,65	0,65	0,68	0,73

Die Bestimmung des Reliabilitätskoeffizienten „Cronbachs Alpha“ (Zöfel 2002, S. 239) ergibt akzeptable Werte (Tab. 21, Details in Anh. 43, 4). Nach Lienert (1969, S. 246), liegt die Grenze, jenseits derer ein Test für eine sinnvolle Differenzierung von Einzelindividuen nicht mehr herangezogen werden sollte, bei einem Koeffizienten von unter 0,6, für eine Differenzierung von Gruppen liegt der Wert noch niedriger. Damit sind die vorliegenden Reliabilitäten, die nur zur Differenzierung von Gruppen herangezogen werden als gut zu bewerten.

**Tab. 21: Reliabilitäten des Subtestes Akzeptanz (Cronbachs Alpha)**

Messzeitpunkt	Nachtest I	Nachtest II
Reliabilität		
Gesamtskala	$\alpha=0,67$	$\alpha=0,72$
Faktoren		
Affektiver Bewertung	$\alpha=0,65$	$\alpha=0,66$
Bewertung des instrumentellen Handelns	$\alpha=0,60$	$\alpha=0,71$

Beide Faktoren sind ausreichend homogen. Die Werte liegen im oder knapp über dem Bereich, den Bortz & Döring (1995, S. 201) für eindimensionale Tests vorschlagen. Sie werden trennscharf erfasst: Alle korrigierten Trennschärfekoeffizienten sind signifikant und liegen fast vollständig in einem akzeptablen Bereich, die Fremdtrennschärfen sind durchgehend niedriger (Tab. 22, vgl. im Detail Anh. 43, 4.).

**Tab. 22: Homogenitäten und Trennschärfen des Subtestes Akzeptanz**

Subtest Akzeptanz		Homogenität	Korrigierte Trennschärfen	Fremdtrennschärfen
Affektive Bewertung	Nachtest I	0,33	3 x > 0,3 1 x > 0,25	niedriger
	Nachtest II	0,37	4 x > 0,3	niedriger
Bewertung des instrumentellen Handelns	Nachtest I	0,33	2 x > 0,3 1 x > 0,25	niedriger
	Nachtest II	0,46	1 x > 0,5 2 x < 0,3	niedriger
	Schwellenwerte	0,2 – 0,4 (Bortz & Döring 1995, S. 201)	> 0,3 mittelmäßig; > 0,5 hoch (Weise 1975, S. 219)	niedriger als korrigierte Trennschärfen (Diehl & Kohr 1999, S. 401 ff)

### 4.3 Subtest Wissenserwerb

Der Subtest Wissenserwerb (Anh. 37) hat zum Ziel, zum einen den Wissensstand der Schüler vor der unterrichtlichen Veranstaltung zu messen, zum anderen die möglichen Veränderungen im kognitiven Bereich zu erfassen.

#### 4.3.1 Testkonstruktion

Grundlage der Testentwicklung waren die in Kap. III 2.1 angegebenen Feinziele des Unterrichts (vgl. Tab. 8), die Beachtung unterschiedlicher Anforderungsstufen im Hinblick auf das von den Items geforderte Schülerverhalten (vgl. v. Falkenhausen et al. 1988, S. 12) und ein inhaltlicher Bezug sowohl auf das aktualisierte Vorwissen als auch auf das projektbezogene Wissen.

Der ursprüngliche Itempool der Voruntersuchung enthielt für jedes der 21 formulierten Feinziele (drei Feinziele pro Grobziel) eine Frage. Die notwendige Testreduktion auf 16 Items (vgl. oben Kap. V 2.2.1) bedingte eine Abweichung von der Gleichverteilung der Fragen auf die einzelnen Grobziele (vgl. im Detail Tab. 23).

**Tab. 23: Bezug des Subtests Wissenserwerb auf die zugrunde liegenden Lernziele und Einschätzung der kognitiven Anforderungsstufe sowie des inhaltlichen Bezugs der einzelnen Items (Details im Text, zur exakten Formulierung der Items vgl. Anh. 45)**

Item	Grobziel	Feinziel	Anforderungsstufe	Inhaltlicher Bezug
Art der Identität bei pro- und eukaryotischer Transkription	1	1	Reorganisation	Vorwissen
Notwendige Upstream-Sequenzen zur Translation eines eukaryotischen Gens in Bakterien	1	2	Transfer	Vorwissen
Wirkung des „Schaltermoleküls“ bei einer positiven Operonkontrolle	1	3	Reproduktion	Vorwissen
Abfolge der Teilsequenzen in einem Expressionsplasmid	2	2	Transfer	Projektwissen
Begründung der GFP-Anwendung in der Molekularbiologie	2	3	Reorganisation	Projektwissen
Art der aufgenommenen DNA bei der Transformation	3	1	Reproduktion	Vorwissen
Abfolge der Teilschritte bei einer Transformation	3	2	Reorganisation	Projektwissen
Bedeutung des Transformationsschrittes in der Transformationslösung	3	3	Reorganisation	Projektwissen
Voraussage des Versuchsergebnisses bei einer Transformation mit gegebenen Resistenzgenen und Medien	5	1	Transfer	Vorwissen
Bedeutung der Vollmedium-Kontrolle bei der Transformation	5	2	Reproduktion	Projektwissen
Art der DNA-Bindung an die Chromatographie-Säule	6	3	Reproduktion	Projektwissen
Bestandteile einer Elektrophorese-Apparatur	7	1	Reproduktion	Projektwissen
Stoffliche Ursache für die Auftrennung der DNA-Moleküle in der Elektrophorese	7	3	Reproduktion	Projektwissen
Art der durch Restriktionsenzyme gespaltenen Nukleinsäure	8	1	Reproduktion	Vorwissen
Zuordnung des richtigen Restriktionsenzym zu einer gegebenen DNA-Sequenz anhand der Schnittstellen-Sequenz	8	2	Transfer	Vorwissen
Voraussage der Fragmentzahl bei der Spaltung eines Plasmids mit zwei Restriktionsenzymen bei gegebener Schnittstellen-Anzahl	8	3	Transfer	Projektwissen

Für die Einschätzung des kognitiven Anforderungsniveaus der Items werden die vom Deutschen Bildungsrat (1970, S. 79 f.) vorgeschlagenen Stufen verwendet, die Eschenhagen et al. (2003, S. 180) wie folgt zusammenfassen:

- „Reproduktion: Wiedergabe von Sachverhalten aus dem Gedächtnis;
- Reorganisation: selbständige Neuordnung bekannter Sachverhalte zu einer neuen, komplexen Struktur;

- Transfer: Übertragen von bekannten Zusammenhängen auf eine Struktur neuer Sachverhalte;
- Problemlösen: Lösen neuartiger Aufgaben bzw. Finden neuartiger Erklärungen für bekannte Sachverhalte; konstruktive Kritik bekannter Lösungsvorschläge“.

Diese Kategorisierung wird in der Schulpraxis zur Einschätzung von Prüfungsaufgaben (vgl. Ellrott 2001, S. 1) und in der didaktischen Forschung zur Beurteilung von informellen Tests eingesetzt (vgl. z.B. Leibold 1997, S. 95, Wilde 2004, S. 100 f.). Die angegebene Beurteilung des Anforderungsniveaus (Tab. 23) bezieht sich auf den Nachtest I, setzt also den durchgeführten Unterricht als Grundlage voraus. In Anbetracht der Kürze der unterrichtlichen Intervention wurde auf das höchste Niveau „Problemlösen“ verzichtet, der Anteil an Transfer-Aufgaben liegt in Anlehnung an Leibold (1997, S. 95) und Wilde (2004, S. 100) bei knapp einem Drittel.

Aufgrund der Voruntersuchung wurden die teilnehmenden Lehrer gebeten, den inhaltlichen Bezug der Items auf das Vorwissen einzuschätzen (vgl. oben Kap. V 2.2.3 und Anh. 44). Die Auswertung ergab, dass die eigene Beurteilung von den Lehrkräften nicht geteilt wurde (Cohens Kappa-Werte zwischen 0,038 und 0,634, vgl. im Detail Anh. 44): Sie charakterisierten die Items im Hinblick auf ihren eigenen Unterricht sehr unterschiedlich. Deshalb wurde für die Einstufung des inhaltlichen Bezugs auf die Ergebnisse der latenten Klassenanalyse zurückgegriffen (vgl. unten Kap. V 4.3.2.2). Die Antwortmuster der Schüler ließen eindeutig eine Gruppe von sieben Vorwissen-Items erkennen, denen neun projektbezogene Items gegenüberstehen (Tab. 23, vgl. auch Abb. 21).

### **4.3.2 Untersuchungstechnische Analyse**

#### **4.3.2.1 Gütekriterien der klassischen Testtheorie**

Die untersuchungstechnische Analyse entsprechend der klassischen Testtheorie umfasst die Bestimmung der Reliabilität, der Homogenität, der korrigierten Trennschärfen, des Schwierigkeitsindex, aufgrund der Mehrfach-Wahl-Aufgaben eine Distraktorenprüfung und Überlegungen zur Kriteriumsvalidität.

Die Reliabilitätskoeffizienten „Cronbachs Alpha“ (Zöfel 2002, S. 239) liegen in einem akzeptablen Bereich (Tab. 24, Details in Anh. 46, 3, vgl. oben Kap. V 4.2.2.2). Auch

der relativ niedrige Wert im Vortest, bedingt durch das geringere Wissensniveau, erlaubt noch die Differenzierung von einzelnen Gruppen (vgl. Lienert 1969, S. 246).

Die Homogenitätswerte sind niedrig (Vortest 0,07, Nachtest I 0,13, Nachtest II 0,10, vgl. im Detail Anh. 47). Damit wird bestätigt, dass sich die einzelnen Items auf unterschiedliche Wissensinhalte des Unterrichts beziehen. Bei komplexen Konstrukten wie dem erworbenen Wissen fördert die Heterogenität der Testitems nach Rost (1996, S. 399) die Konstruktvalidität.

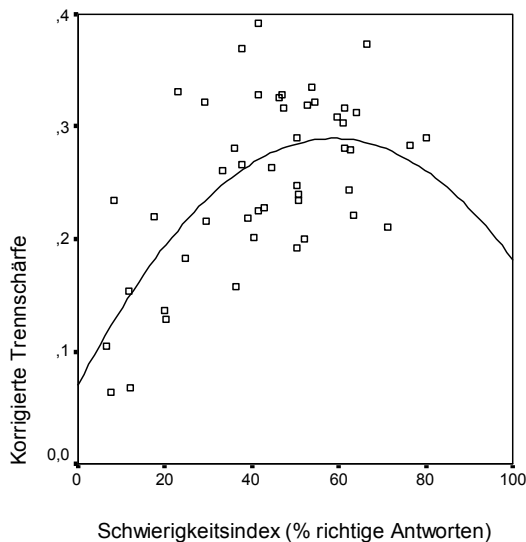
**Tab. 24: Reliabilitäten des Subtestes Wissenserwerb (Cronbachs Alpha)**

Vortest	Nachtest I	Nachtest II
$\alpha=0,58$	$\alpha=0,67$	$\alpha=0,71$

Die korrigierten Trennschärfen (Tab. 25, vgl. im Detail Anh. 48) im Nachtest I sind akzeptabel, im Vortest und Nachtest II sind sie teilweise niedriger. Allerdings stehen Trennschärfe und Schwierigkeitsindex (vgl. im Detail Anh. 49) in einem parabolischen Zusammenhang (Abb. 20, vgl. Lienert 1969, S. 40). Deshalb ist es notwendig, sich nicht nur an den Trennschärfekoeffizienten, sondern auch an den Schwierigkeitsindices zu orientieren. Bei geringem oder hohem Schwierigkeitsindex sind „Trennschärfeeinbußen in Kauf zu nehmen“ (Bortz & Döring 1995, S. 200). Die Schwierigkeitsindices sind zu allen drei Testzeitpunkten normalverteilt (Anpassungstests nach Kolmogorov-Smirnov (N = 16): Vortest  $p = 0,946$ ; Nachtest I  $p = 0,927$ , Nachtest II  $p = 0,667$ , vgl. im Detail Anh. 49) und liegen bis auf den Wert eines Items im Vortest (8,3%) alle innerhalb des von Leibold (1997, S. 95) genannten Bereiches von 10 bis 90 % an richtigen Antworten.

**Tab. 25: Korrigierte Trennschärfen des Subtests Wissenserwerb (Schwellenwert: > 0,3 mittelmäßig, Weise 1975, S. 219)**

Korrigierter Trennschärfekoeffizient	> 0,3	> 0,25	> 0,2	> 0,1	n.s.
Vortest	2	2	5	6	1
Nachtest I	9	4	3		
Nachtest II	5	3	6	1	1



**Abb. 20: Parabolischer Zusammenhang zwischen korrigierter Trennschärfe und Schwierigkeitsindex im Subtest Wissenserwerb (48 Items aus Vortest, Nachtest I und II)**

Die Distraktorenprüfung analysiert die Falschantworten einer Mehrfach-Wahl-Aufgabe. Nach Eschenhagen et al. (2003, S. 421) sollen Distraktoren weder zu attraktiv noch zu unattraktiv sein ( $> 50\%$  bzw.  $< 10\%$  der falschen Ankreuzungen). Sie sollen „so geartet sein, dass ein uninformatierter Untersuchungsteilnehmer sämtliche Antworten mit möglichst gleicher Wahrscheinlichkeit für richtig hält“ (Bortz & Döring 1995, S. 195). Die Überprüfung (vgl. im Detail Anh. 49) ergibt, dass einzelne Items weniger plausible Distraktoren besitzen, der Anteil liegt allerdings in einem bei vergleichbaren fachdidaktischen Studien üblichen Bereich (Tab. 26). Zudem beeinflussen solche Distraktoren nach Haladyna & Downing (1989, S. 67) die Trennschärfe, die Reliabilität und die Validität eines Testes nicht, sie sind nur weniger schwierig zu beantworten. Dies erscheint in Anbetracht der ideal normalverteilten Schwierigkeitsindices (vgl. oben) akzeptabel.

**Tab. 26: Ergebnis der Distraktorenprüfung des Subtests Wissenserwerb im Literaturvergleich**

Distraktoren-Attraktivität	Prozentuale Anteile im			Angaben bei	
	Vortest	Nachtest I	Nachtest II	Leibold (1997, S. 103)	Füller (1992, S. 86 f.)
über 50 % (zu hoch)	22,9	20,8	18,8	22,2	16,0 – 22,9
unter 10 % (zu niedrig)	18,8	10,4	8,3	5,6	14,5 – 36,0

Zur Beurteilung der Kriteriumsvalidität, also der Frage, ob die Items wirklich unterrichtlich erworbenes Wissen erfassen, können die im bisherigen Unterricht erreichten Leistungen als Außenkriterium herangezogen werden. Die Wissensscores

korrelieren zu allen drei Messzeitpunkten signifikant (jeweils  $p < 0,001$ ) mit den durchschnittlichen schriftlichen Leistungen im Leistungskurs Biologie (Spearman-Rho: Vortest  $r = 0,267$ ; Nachttest I  $r = 0,412$ ; Nachttest II  $r = 0,443$  ( $N = 351$ )). Dies spricht für eine hinreichende Kriteriumsvalidität, auch wenn nach Wilde (2004, S. 97) die Validität bzw. Reliabilität der notenmäßigen Bewertung von schulischen Leistungen kritisch gesehen werden kann.

#### 4.3.2.2 Latente Klassenanalyse

Die Anwendung der latenten Klassenanalyse als klassifizierendes probabilistisches Testmodell erfordert zum einen theoretische Überlegungen zur Vorgabe der Klassenanzahl, zum anderen die Überprüfung der Gültigkeit der einzelnen Modelle (vgl. oben Kap. V 1.2).

Der inhaltliche Bezug der Items auf das Vorwissen bzw. das projektbezogene Wissen ließ Testmodelle mit bis zu vier Klassen plausibel erscheinen:

- Modell mit zwei latenten Klassen: „Viel-Köner“ mit hohem vs. „Wenig-Köner“ mit geringem Wissen;
- Modell mit drei latenten Klassen: Aufbauend auf den Ergebnissen der Voruntersuchung (vgl. oben Kap. V 2.2.3) zusätzlich zu den beiden genannten Klassen eine Klasse von „Vorwissen-Könnern“ mit spezifischen Kenntnissen in diesem Bereich.
- Modell mit vier latenten Klassen: Eine vierte mögliche Klasse könnte Schüler umfassen, die sich nur projektbezogenes Wissen aneignen, ohne dabei Vorwissen zu aktualisieren.

Basierend auf diesen Überlegungen wurden Modelle mit zwei bis vier latenten Klassen auf ihre Gültigkeit überprüft (Tab. 27). Dazu wurden die Itemantworten der Probanden zu den drei Messzeitpunkten so behandelt, als wären sie von unterschiedlichen Personen hervorgebracht worden. Die Daten aus Vortest, Nachttest I und Nachttest II wurden zu einer gemeinsamen Matrix kombiniert ( $N = 1011$ ). Für diesen Datensatz wurden mit Hilfe der Software Winmira 2001 (v. Davier 2001) die drei Modelle berechnet. Dadurch wurde sichergestellt, dass die latenten Klassen zu allen Testzeitpunkten identisch sind. Eine zeitabhängige Veränderung drückt sich dann in einem Wechsel des Probanden von einer Klasse in eine andere Klasse aus.

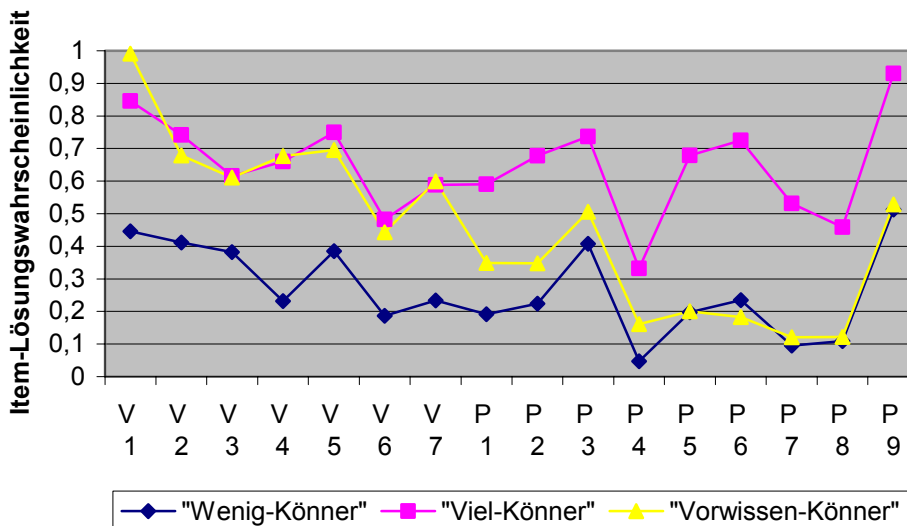
**Tab. 27: Überprüfung der Modellgeltung bei den berechneten Modellen zur latenten Klassenanalyse (Details im Text)**

Modell	Informationstheoretische Maße		Goodness-of-Fit Tests mit Bootstrap-Prüfverteilung	
	BIC-Index	CAIC-Index	Pearson $X^2$	Cressie-Read
Klassifizierendes Modell mit zwei latenten Klassen (LCA2)	19812,95	19845,95	0,200	0,050
drei latenten Klassen (LCA3)	19815,92	19865,92	0,150	0,025
vier latenten Klassen (LCA4)	19842,03	19909,03	0,250	0,000

Die Modellgeltung lässt sich nach Rost (1996, S. 325) auf zwei Ebenen überprüfen. Über die informationstheoretischen Maße, den BIC- (Best Information Criterion) und den CAIC-Index (Consistent Akaiques Information Criterion) lassen sich verschiedene Modelle im Hinblick auf ihre Anpassung an die Daten vergleichen (vgl. im Detail Anh. 50 1). Je kleiner die Werte für die Indices sind, desto besser passt das Modell. Nach beiden Indices nimmt die Eignung der Modelle mit zunehmender Klassenzahl ab. Über Goodness-of-Fit Tests mit parametrischen Bootstrap-Prüfverteilungen wird die Reproduzierbarkeit der beobachteten Daten durch die verschiedenen Modellierungen verglichen. Nach v. Davier (1997, S. 142) ist die Pearson  $X^2$  – Statistik dafür am besten geeignet, mit Einschränkungen auch die Cressie-Read – Statistik. Bei einer mit  $p < 0,001$  höchst signifikanten Prüfstatistik wie im Fall des LCA4-Modells bei der Cressie-Read – Statistik liegen die Werte der echten Daten nicht mehr im Schwankungsbereich der reproduzierten Werte und das Modell beschreibt die Daten nicht hinreichend. Somit ist diese Modellierung zu verwerfen. P-Werte im Bereich von 0,025 sind nach Chen et al. (2004, S. 159) als gerade noch hinreichend zu beurteilen, während Werte über 0,05 uneingeschränkt akzeptabel sind. Damit erscheinen auf dieser Ebene sowohl das Zwei- als auch das Drei-Klassen-Modell als gültige Modellierung der Daten.

„Nach der statistischen Absicherung der Modellanpassung“ sollen nach v. Davier (1997, S. 58) „inhaltliche Erwägungen zur endgültigen Auswahl eines Modells führen“. Hierzu werden die Itemprofile herangezogen. Die Zwei-Klassen-Lösung differenziert die Schüler - wie theoretisch erwartet - in die Klassen der „Viel-“ und „Wenig-Köner“, ein weiterer Erklärungswert ist nicht vorhanden (vgl. Anh. 50 2). Das LCA3-Modell liefert - wie in der Voruntersuchung – wesentlich stärker differenzierte Itemprofile und identifiziert zusätzlich die Klasse der „Vorwissen-Köner“ (vgl. Abb. 21).





**Abb. 21:** Itemprofile der drei latenten Klassen im Drei-Klassen-Modell für den gemeinsamen Datensatz aus Vortest, Nachtest I und II ( $V_n$  = Vorwissenitems,  $P_n$  = projektbezogene Items;  $N = 1011$ )

Die Probanden der Klasse „Wenig-Köner“ besitzen bei 15 Items eine Lösungswahrscheinlichkeit von unter 50 %, nur ein Item liegt bei 51 % (Item P 9) und zehn von 16 Items sind im Bereich oder unter der Ratewahrscheinlichkeit von 25 %. Die Schüler der Klasse „Viel-Köner“ zeigen bei 13 von 16 Items eine Lösungswahrscheinlichkeit von über 50 % und bei den restlichen drei Items jeweils deutlich den höchsten Wert. Sie sind also Köner über alle Items hinweg. Die Versuchspersonen der Klasse „Vorwissen-Köner“ haben sieben Items vergleichbar mit der Klasse der „Viel-Köner“ gelöst, dabei handelt es sich um die Items mit inhaltlichem Bezug auf das Vorwissen. Die übrigen neun Items mit projektbezogenem Inhalt werden eher vergleichbar mit den Schülern der „Wenig-Köner“ bearbeitet.

Damit ermöglicht die latente Klassenanalyse, das unterschiedliche Vorwissen der Schüler fassbar zu machen und von dieser Ebene her, den inhaltlichen Bezug der Items zu klären (vgl. oben Kap. V 4.3.1). Das LCA3-Modell besitzt somit einen wesentlich höheren Interpretationswert als das Zwei-Klassen-Modell. Deshalb wird es trotz der höheren Modellgeltungsindices für die Datenanalyse ausgewählt.

Um die Zuverlässigkeit der ausgewählten Drei-Klassen-Lösung zusätzlich abzusichern, wurden nach Nerdel (2002, S. 131) die Zuordnungswahrscheinlichkeiten zu den latenten Klassen als weitere Kriterien herangezogen. Bei drei Klassen beträgt die Zufallswahrscheinlichkeit einer Zuordnung 33,3 %, in diesem Fall wäre das Antwortmuster eines Probanden keiner

Klasse eindeutig zuzuordnen. Jede Person wird der Klasse mit der maximalen Zuordnungswahrscheinlichkeit zugeteilt. Die Mittelwerte dieser Größe für jede Klasse und insbesondere für alle Personen sind ein Maß für die „Treffsicherheit“ und damit „ähnlich wie ein Reliabilitätsmaß (...) für die Meßgenauigkeit eines Tests“ (Rost 1996, S. 157 u. 361). Sie liegen nach Rost (1996, S. 158) im akzeptablen bis hohen Bereich (Tab. 28, vgl. im Detail Anh. 51).

**Tab. 28: Messgenauigkeit des Subtests Wissenserwerb in der latenten Klassenanalyse, verdeutlicht durch die mittleren Zuordnungswahrscheinlichkeiten für die drei latenten Klassen (vergleichbar der Reliabilität)**

Zuordnungswahrscheinlichkeit	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Gesamt
Mittelwert	0,876	0,890	0,714	0,875
Standardabweichung	0,159	0,150	0,166	0,168
N	502	362	147	1011

#### **4.4 Subtest Interesse**

Ziel des Subtests Interesse ist es, zu überprüfen, ob durch das Unterrichtsangebot Interesse an gentechnischen Fragen und deren Bewertung situational entwickelt bzw. vorhandenes individuelles Interesse aktualisiert worden ist. Damit beschränkt sich die Studie im Sinne von Engeln (2004, S. 63) auf die Erfassung der „epistemischen Komponente“ des Interesses.

##### **4.4.1 Testkonstruktion**

Grundlage der Testentwicklung waren zunächst die Ergebnisse aus der Interessenforschung von Todt & Götz (1998, S 5 ff.), die ein recht großes und differenziertes Interesse von Oberstufenschülern an ethischen und anwendungsbezogenen Fragen zur Gentechnik aufzeigen, letztere speziell im Hinblick auf Umwelt- und therapeutische Aspekte (vgl. oben Kap. II, 3.3.2). Zur Itemkonstruktion selbst wurden Ergebnisse aus der Einstellungsforschung herangezogen, die die Hoffnungen und Befürchtungen von Schülern gegenüber der Gentechnik (Todt & Götz 1997, S. 18 ff.; Hößle 2001, S. 116 ff.), deren gentechnikbezogene Einstellungen (Keck 1998, S. 39 ff., Schlüter 2000, S. 86) bzw. die Bewertungen konkreter Anwendungen von Gentechnik in der Öffentlichkeit (Hampel & Pfenning 2001, S. 32) darstellen. Gezielt wurden sowohl extrem (positiv bzw. negativ) beurteilte als auch neutral bewertete Anwendungen ausgewählt. Über Selbsteinschätzungs-Aufgaben (vgl. oben Kap. V 4.1), deren instruktionale Anleitung

in der sprachlichen Formulierung von Todt & Götz (1998, S. 4) übernommen wurde, wurde das Interesse an folgenden Inhalten operationalisiert (Tab. 29).

**Tab. 29: Items des Subtests Interesse** (Beantwortung über eine Rating-Skala mit den Vorgaben: gar nicht – kaum – mittelmäßig – ziemlich – außerordentlich; vgl. im Detail Anh. 36 re.)

Item	Kreuzen Sie an, wie <u>gern</u> Sie mehr über die folgenden Themen aus der Gentechnik wissen möchten:
1.	Erfolge der medizinischen Anwendungen beim Menschen;
2.	Entwicklung neuer Medikamente für den Menschen mit Hilfe der Gentechnik;
3.	Einsatzmöglichkeiten von genetischen Fingerabdrücken;
4.	Genwirkungen beim Menschen;
5.	Förderung des Ernteertrags bei gentechnisch verändertem Weizen;
6.	Verringerung der Ernteverluste durch Schädlinge bei Nutzpflanzen;
7.	Änderung von Fleisch-Eigenschaften durch eine Übertragung von Schweine-Erbgut auf Rinder;
8.	Qualitätsverbesserungen von Lebensmitteln;
9.	ethische Beurteilung der gentechnischen Anwendungen.
10.	Risiken, die mit der Freisetzung von gentechnisch veränderten Lebewesen verbunden sind;
11.	Aussichten, umstrittene Anwendungen der Gentechnik rechtlich zu regeln;
12.	moralische Begründungen von Grenzen der Gentechnik;

- **Anwendungen der Gentechnik beim Menschen:**  
In Bezug auf therapeutische (Rote Gentechnik, Item 1 und 2) und kriminalistische (Item 3) Anwendungen hegen Schüler große Hoffnungen (Todt 1997, S. 18, Hößle 2001, S. 118); sie befürworten deren Einsatz maximal (Keck 1998, S. 51) wie dies auch in der Öffentlichkeit geschieht (Hampel & Pfenning 2001, S.32). Anwendungen in der Grundlagenforschung (Item 4) werden von Schülern neutral (Todt 1997, S. 18) bis leicht negativ (Schlüter 2000, S. 86) bewertet.
- **Anwendungen der Grünen Gentechnik:**  
Grüne Gentechnik bei Pflanzen (Item 5 u. 6) wird von Schülern und in der Öffentlichkeit neutral bewertet, Anwendungen bei Tieren (Item 7) und allgemein bei Lebensmitteln (Item 8) werden maximal abgelehnt (Keck 1998, S. 51, Schlüter 2000, S. 86, Hampel & Pfenning 2001, S. 32).
- **Ethische Bewertung der Gentechnik:**  
Die allgemeine ethische Bewertung (Item 9) ist nach Todt (1998, S. 9) speziell für Schüler im Alter der Stichprobe von hohem Interesse. Die Frage nach dem Interesse an den beiden unterschiedlichen ethischen Begründungsebenen, der konsequentialistischen (Item 10 u. 11) bzw. der kategorialen Ebene (Item 12), soll einen möglichen Einfluss der ethischen Reflexionsphase überprüfen (vgl. Kap. III 1.3).

#### 4.4.2 Dimensionsreduktion und Reliabilitätsanalyse

Vergleichbar mit dem Subtest Akzeptanz (vgl. Kap. V 4.2.2.2) hat die Studie - bedingt durch die Erweiterung des Itempools (vgl. Kap. V 2.2.1) und die damit verknüpfte Neuformulierung von Items - in diesem Bereich ebenfalls explorativen Charakter. Die Dimensionsreduktion über Faktorenanalysen (vgl. Lienert 1969, S. 490) wird daher auch hier mit der entsprechenden Reliabilitätsanalyse verknüpft. Die gegebene Mehrdimensionalität erfordert ein schrittweises Vorgehen, das im Folgenden zusammengefasst wird (vgl. im Detail Anh. 52).

Eine erste Analyse ergibt für die Nachtteste I und II die drei nach der Testkonstruktion zu erwartenden Faktoren: Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen, an Anwendungen der Grünen Gentechnik und an ethische Aspekten (vgl. oben Kap. V 4.4.1). Im Vortest dagegen laden drei Items auf einen vierten, bipolaren Faktor, (vgl. im Detail Anh. 52, 2., 5. u. 6.), d.h. Schüler, die sich sehr für die Einsatzmöglichkeiten genetischer Fingerabdrücke interessieren, zeigen ein geringes Interesse an Risiken bei der Freisetzung gentechnisch veränderter Lebewesen bzw. an der Genübertragung zwischen Nutztieren und umgekehrt. Als inhaltliche Gemeinsamkeit lässt sich ein Interesse an Risikoaspekten der Gentechnik erkennen. Zu den beiden späteren Messzeitpunkten laden die Items jeweils auf den Faktor, zu dem ein inhaltlicher Bezug besteht (Tab. 30), d.h. nach der unterrichtlichen Intervention ist die vorherige Gemeinsamkeit der drei Items nicht mehr vorhanden (zur Diskussion dieses Faktorenwechsels für die Erfassung des Konstruktes Interesse vgl. Kap. VII 1.1).

**Tab. 30: Faktorenwechsel von Items des Subtests Interesse vom Vortest zu den Nachttests I und II (vgl. im Detail Anh. 52, 2., 5. u. 6.)**

Item	Vortest	Nachttest I u. II
Interesse an	Interesse an	Interesse an
Einsatzmöglichkeiten von genetischen Fingerabdrücken;	Risikoaspekten	Anwendungen beim Menschen
Änderung von Fleisch-Eigenschaften durch eine Übertragung von Schweine-Erbgut auf Rinder;	Risikoaspekten	Anwendungen der Grünen Gentechnik
Risiken, die mit der Freisetzung von gentechnisch veränderten Lebewesen verbunden sind;	Risikoaspekten	ethischen Aspekten

Obwohl die gewonnenen Faktorenstrukturen hinreichend stabil sind (FS (VT) = FS (NT II) = 0,93, FS (NT I) = 0,92, somit alle über dem Grenzwert von 0,90 (Bortz 1999, S. 507) liegen und auch die weiteren Kriterien erfüllen, die nach Brosius (1989, S.

141 ff.) für eine sinnvolle Interpretation Voraussetzung sind (vgl. im Detail Anh. 52, 2., 5. u. 6.), können die drei, den Faktor wechselnden Items nicht weiter berücksichtigt werden. Zum einen ergibt die weitere Analyse, dass die Items nicht trennscharf genug sind und der durch sie festgelegte Faktor Interesse an Risikoaspekten nicht reliabel erfasst worden ist (vgl. im Detail Anh. 52, 4.), zum anderen ist ein Vergleich des Interesses zu den verschiedenen Messzeitpunkten nur ohne diese Items möglich. Daher werden die Faktorenanalysen mit der auf neun Items reduzierten Skala wiederholt. Deren Eignung und die Struktur aus drei Faktoren werden bestätigt (Tab. 31, vgl. im Detail Anh. 52, 7. – 9.).

**Tab. 31: Dreifaktorielle Struktur des Subtests zum Interesse an gentechnischen Fragen (Details im Text)**

Item	Ladung auf Faktor/ Komponente								
	Anwendungen der Gentechnik beim Menschen			Anwendungen der Grünen Gentechnik			ethischen Aspekten der Gentechnik		
	VT	NT I	NTII	VT	NT I	NTII	VT	NT I	NTII
Erfolgen bei medizinischen Anwendungen	0,88	0,80	0,90						
Entwicklung neuer Medikamente	0,84	0,80	0,87						
Genwirkungen beim Menschen	0,65	0,72	0,70						
Förderung des Ernteertrags bei gentechnisch verändertem Weizen				0,87	0,80	0,89			
Verringerung der Ernteverluste durch Schädlinge bei Nutzpflanzen				0,88	0,86	0,88			
Qualitätsverbesserungen bei Lebensmitteln				0,71	0,77	0,67			
moralischen Begründungen zu Grenzen der Gentechnik							0,91	0,91	0,88
ethischer Beurteilung gentechnischer Anwendungen							0,91	0,90	0,88
rechtlicher Regelung umstrittener Anwendungen							0,60	0,67	0,72

Der Faktor Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen betrifft medizinische und forschungsbezogene Aspekte. Der Faktor Interesse an Anwendungen der Grünen Gentechnik beinhaltet Interesse an Möglichkeiten der Ertragssteigerung bei Nutzpflanzen und an Qualitätsverbesserungen von Lebensmitteln. Der Faktor Interesse an ethischen Aspekten umfasst das Interesse an der allgemeinen Beurteilung gentechnischer Anwendungen sowie den beiden unterschiedlichen Begründungsebenen ethischer Bewertungen. Die relative Stabilität der Faktorladungen über die drei Messzeitpunkte spricht nach Finke (1998, S. 81) für die Konstruktvalidität des Subtestes Interesse. Die drei Faktoren erklären zusammen ca. 70 % der Gesamtvarianz (Vortest 69,4 %, Nachtest I 68,3 %, Nachtest II 70,4 %, vgl. im Detail Anh. 52, 7.2, 8.2 u. 9.2), nach Lienert (1969, S. 545) ein befriedigendes

Resultat. Dabei entfallen auf jeden Faktor jeweils über 20 % der Varianz, damit sind sie als beachtenswert einzustufen (Lienert 1969, S. 545).

Die Bestimmung des Reliabilitätskoeffizienten „Cronbachs Alpha“ (Zöfel 2002, S. 239) ergibt Werte (Tab. 32, Details in Anh. 53, 4.), die deutlich über der Grenze von 0,6 liegen, die Lienert (1969, S. 246) zur Differenzierung von Individuen vorschlägt. Da in der Studie nur Gruppen verglichen werden, sind die Werte als gut einzustufen.

**Tab. 32: Reliabilitäten des Subtestes Interesse (Cronbachs Alpha)**

Messzeitpunkt	Vortest	Nachtest I	Nachtest II
Reliabilität			
Gesamtskala	$\alpha=0,85$	$\alpha=0,81$	$\alpha=0,84$
Faktoren: Interesse an			
Anwendungen der Gentechnik beim Menschen	$\alpha=0,76$	$\alpha=0,69$	$\alpha=0,78$
Anwendungen der Grünen Gentechnik	$\alpha=0,77$	$\alpha=0,76$	$\alpha=0,76$
ethischen Aspekten der Gentechnik	$\alpha=0,72$	$\alpha=0,79$	$\alpha=0,78$

**Tab. 33: Homogenitäten und Trennschärfen des Subtestes Interesse**

Subtest Interesse		Homogenität	Korrigierte Trennschärfen	Fremdtrennschärfen
Faktor: Interesse an				
Anwendungen der Gentechnik beim Menschen	Vortest	0,54	$3 x > 0,3$	niedriger
	Nachtest I	0,51	$2 x > 0,3$ $1 x > 0,25$	niedriger
	Nachtest II	0,54	$3 x > 0,3$	niedriger
Anwendungen der Grünen Gentechnik	Vortest	0,55	$2 x > 0,3$ $1 x > 0,25$	niedriger
	Nachtest I	0,51	$2 x > 0,3$ $1 x > 0,2$	niedriger
	Nachtest II	0,44	$2 x < 0,3$ $1 x > 0,15$	niedriger
ethischen Aspekten der Gentechnik	Vortest	0,53	$3 x > 0,3$	niedriger
	Nachtest I	0,52	$3 x > 0,3$	niedriger
	Nachtest II	0,45	$3 x > 0,3$	niedriger
	Schwellenwerte	0,2 – 0,4 (Bortz & Döring 1995, S. 201)	$> 0,3$ mittelmäßig (Weise 1975, S. 219)	niedriger als korrigierte Trennschärfen (Diehl & Kohr 1999, S. 401 ff)

Alle drei Faktoren zeigen eine hohe Homogenität. Die Werte liegen über dem Bereich, den Bortz & Döring (1995, S. 201) für eindimensionale Tests angeben. Alle korrigierten Trennschärfekoeffizienten sind signifikant und liegen fast durchgehend

im akzeptablen Bereich. Die Fremdtrennschärfen sind durchgehend niedriger (Tab. 33, vgl. im Detail Anh. 53 2. u. 3.).

## 5. Auswertung

### 5.1 Kodierungen und Größenberechnungen

Die Kodierung der gewonnenen Daten für die Auswertung ist abhängig vom jeweiligen Subtest (Tab. 34). Im Bereich Wissenserwerb werden fehlende und falsche Antworten gleich behandelt, da nach Lienert (1969, S. 97) eine nicht beantwortete Frage wie eine falsch gelöste bewertet werden sollte. Die erzeugten Variablen sind die Grundlage für die Berechnung neuer Größen.

**Tab. 34: Kodierung der Daten**

Subtest	Itemtyp	Kodierung	Skalenniveau
Akzeptanz	Items mit Reihenantworten	vgl. Kap V 4.2.2.1	nominal
	Items mit Einfachantworten	vgl. Kap V 4.2.2.1	intervallskaliert
	Selbsteinschätzungs-Aufgaben	0 kann ich nicht beurteilen; 1 gar nicht bis 5 außerordentlich	ordinal
Wissens- erwerb	Multiple-Choice-Aufgaben und Item mit Einfachantwort	0 fehlend oder falsch; 1 richtig	ordinal
Interesse	Selbsteinschätzungs-Aufgaben	1 gar nicht bis 5 außerordentlich	ordinal

Für die Konstrukte Akzeptanz und Interesse werden nach Bortz & Döring (1995, S. 138 u. 202) gewichtete Summenscores für die gesamte Skala bzw. die einzelnen identifizierten Faktoren berechnet (vgl. Kap. V 4.2.2.2 u. 4.4.2). Um die einzelnen Messzeitpunkte miteinander vergleichen zu können, müssen diese sich auf identischen Faktorladungen beziehen. Für den Bereich Akzeptanz werden dafür die Ladungen des Nachttests I ausgewählt. Dieser erfasst die Akzeptanz unmittelbar im Anschluss an die Unterrichtsveranstaltung und bildet sie damit ohne weitere externe Beeinflussungen ab, die sich bis zum Nachttest II eventuell unabhängig von der Intervention ergeben haben könnten. Für den Bereich Interesse werden die Faktorladungen des Vortests ausgewählt. Er spiegelt den Interessezustand der Schüler vor der Intervention wieder, mögliche Veränderungen durch die Projektveranstaltung werden so mit diesem Ausgangszustand in Beziehung gebracht. Zur Beurteilung von Änderungen zwischen den einzelnen Messzeitpunkten wird im Einzelfall dem Vorschlag von Löwe (1984, S. 59) gefolgt, Differenzgrößen der Summenscores zu berechnen (z.B. Nachttest I – Vortest).

Für die quantitative Auswertung des Subtests Wissenserwerb werden Summenscores für das vorhandene (Vortest), das aktuelle (Nachtest I) und das persistente Wissen (Nachtest II) berechnet. Da die Multiple-Choice-Aufgaben mit vier Antwortalternativen eine Ratewahrscheinlichkeit von 25 % besitzen, ist die Anwendung einer Ratekorrektur zu bedenken. Für die nach Bortz & Döring (1995, S. 197) berechneten ratekorrigierten Summenscores ergaben sich allerdings zwischen allen Messzeitpunkten und zwischen den Untersuchungsgruppen zum identischen Messzeitpunkt die gleichen Verhältnisse wie bei den unkorrigierten Werten (vgl. beispielhaft Anh. 54). Daher wird zugunsten der Transparenz auf diese Korrektur verzichtet.

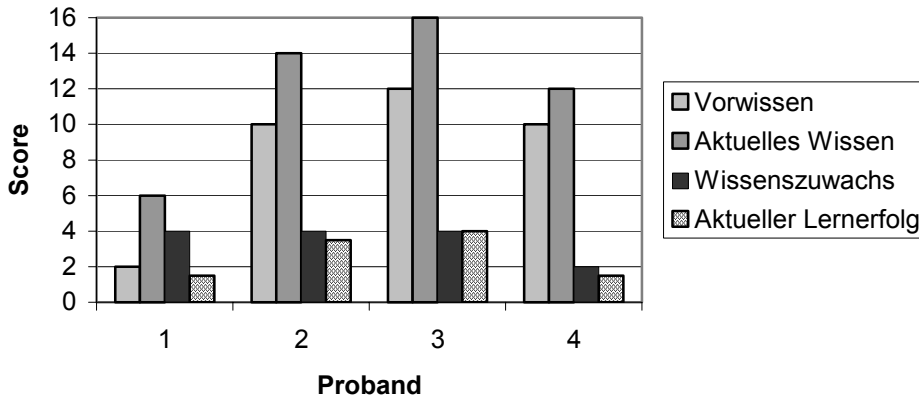
Ausgehend von den Summenscores lassen sich Differenzgrößen für den Wissenszuwachs (Nachtest I – Vortest), die Behaltensleistung (Nachtest II – Vortest) und das Vergessensmaß (Nachtest I – Nachtest II) berechnen (vgl. Füller 1992, S. 121; Leibold 1997, S. 99). Diese Differenzgrößen berücksichtigen jedoch nicht die Höhe des tatsächlich erreichten Wissens (vgl. Abb. 22, Probanden 1 bis 3). Deswegen wird für den kognitiven Lernerfolg erstmalig in dieser Studie eine neue Größe eingeführt, bei der der Wissenszuwachs qualitativ bewertet wird, der „aktuelle Lernerfolg“:

$$\text{Aktueller Lernerfolg} = \text{Wissenszuwachs} \times \frac{\text{Anteil des aktuellen Wissens am maximal möglichen Wissen.}}{1}$$

Haben zwei Probanden (Abb. 22, Probanden 1 u. 2) bspw. bei 16 Testitems im Vortest zwei bzw. zehn Items und im Nachtest I sechs bzw. 14 Items richtig beantwortet, so ist ihr Wissenszuwachs jeweils vier Items, ihr Lernerfolg wird jedoch als  $4 \times 6/16$  bzw.  $4 \times 14/16$  berechnet und erhält die Werte 1,5 bzw. 3,5. Der identische Wissenszuwachs wird in Abhängigkeit vom tatsächlichen Wissen unterschiedlich stark abgewertet. Erreicht ein Proband das maximal mögliche Wissen, ist die neue Größe mit dem Wissenszuwachs identisch (Abb. 22, Proband 3). Ein identischer Lernerfolg kann somit durch einen hohen Wissenszuwachs bei geringem Endwissen oder durch einen geringen Wissenszuwachs bei hohem Endwissen entstehen (Abb. 22, Probanden 1 u. 4). Die in der fachdidaktischen Forschung teilweise berechnete Größe relativer Wissenszuwachs (Quotient aus Wissenszuwachs und Vortest-Score, vgl. Füller 1992, S. 121, Leibold 1997, S. 99) wertet demgegenüber das tatsächlich erreichte Wissen ab.



**Wissenszuwachs und aktueller Lernerfolg**



**Abb. 22: Vergleich der neuen Größe aktueller Lernerfolg mit der Differenzgröße Wissenszuwachs am beispielhaften Vergleich von vier Probanden (Details im Text)**

Bezogen auf die Behaltensleistung wird entsprechend die neue Größe „persistenter Lernerfolg“ berechnet:

$$\text{Persistenter Lernerfolg} = \text{Behaltensleistung} \times \text{Anteil des persistenten Wissens am maximal möglichen Wissen.}$$

Im probabilistischen Testmodell der latenten Klassenanalyse wird Lernen als Wechsel in eine latente Klasse mit höherem Wissen definiert. Die Veränderungen zwischen den einzelnen Messzeitpunkten werden mit Hilfe von Kreuztabellierungen dargestellt (Tab. 35, vgl. Nerdel 2002, S. 53).

**Tab. 35: Beispielhafte Kreuztabelle zur Dokumentation der Wanderungsbewegungen zwischen den latenten Klassen (S Stagnierer, L Lerner, V Verlerner, G Gesamtgruppe; Ziffern: Inhaltlicher Bezug 1 Vorwissen, 2 projektbezogenes Wissen, 3 gesamtes Wissen; die Zellen geben die absoluten Personenhäufigkeiten an; weitere Details im Text)**

		Nachttest I			Gesamt
		Wenig-Könnner	Vorwissen-Könnner	Viel-Könnner	
Vortest	Wenig-Könnner	S1	L1	L3	G1
	Vorwissen-Könnner	V1	S2	L2	G2
	Viel-Könnner	V3	V2	S3	G3
	Gesamt	G4	G5	G6	G

Damit lassen sich folgende Lerner-Gruppen definieren: L1-Schüler aktualisieren Vorwissen, L2-Schüler erwerben projektbezogenes Wissen bei vorhandenem Vorwissen dazu und L3-Schüler lernen Inhalte aus beiden Bereichen. Den Lernern stehen die jeweiligen Gruppen der Stagnierer bzw. Verlerner gegenüber, die keinen Wechsel vollziehen oder in eine Klasse mit geringerem Wissen zurückfallen.

Der Erfolg der unterrichtlichen Intervention wird (veränd. nach Nerdel 2002, S. 55) als Anteil an entsprechenden Lernergruppen berechnet (Tab. 36). Entsprechend wird bei den drei Verlerner-Gruppen verfahren (vgl. im Detail Anh. 60, 8.4).

**Tab. 36: Unterschiedliche Anteile an Lernern bei der latenten Klassenanalyse (für die Abkürzungen vgl. Tab. 35)**

Anteile (A) an Lernern	Berechnung
insgesamt	$A_{ge} = (L1 + L2 + L3)/G$
bei der Aktualisierung von Vorwissen	$A_{Vw} = L1/G$
beim Erwerb von projektbezogenem Wissen mit vorhandenem Vorwissen	$A_{Pw} = L2/G$
bei der Aktualisierung von Vorwissen und dem Erwerb von projektbezogenem Wissen	$A_{Vw/Pw} = L3/G$

## 5.2 Statistische Behandlung und Darstellung der Daten

Die statische Behandlung der Daten erfolgt mit Hilfe der Software SPSS 11.0. Zur Überprüfung von Unterschieden in den gewonnenen Kennwerten der Stichprobe werden Irrtumswahrscheinlichkeiten ( $p$ ) berechnet, um die jeweils zugrunde liegende Nullhypothese – der Unterschied ist zufällig – zu verwerfen und die entsprechende Alternativhypothese – der Unterschied ist nicht zufällig – anzunehmen. Dabei wird das in der Grundlagenforschung übliche Signifikanzniveau ( $\alpha$ ) verwendet:  $p > 0,05$  nicht signifikant und  $p \leq 0,05$  signifikant (Bortz & Döring 1995, S. 26). Eine weitere Differenzierung ( $p \leq 0,01$  hoch und  $p \leq 0,001$  höchst signifikant) wird nicht vorgenommen (vgl. Diehl & Arbinger 2001, S. 55, Zöfel 2002, S. 60 ff.), da die Angabe der exakten  $p$ -Werte die tatsächliche Irrtumswahrscheinlichkeit verdeutlicht und damit die Wahrscheinlichkeit eines so genannten  $\alpha$ -Fehlers, d.h. einer Entscheidung zugunsten der Alternativhypothese, obwohl die Nullhypothese beizubehalten ist (Bortz & Döring 1995, S. 466). Diese Wahrscheinlichkeit ist „somit für den Untersucher gut kontrollierbar“ (Diehl & Arbinger 2001, S. 69). Die zweite mögliche Fehlentscheidungen beim Testen von statistischen Hypothesen ist der  $\beta$ -Fehler (Fehler zweiter Art): Die Nullhypothese wird beibehalten, obwohl sie zu verwerfen ist (vgl. beispielhaft Zöfel 2002, S. 65 ff., Bortz & Döring 1995, S. 467 ff., Diehl & Arbinger 2001, S. 67 ff.). Die Wahrscheinlichkeit dieses Fehlers lässt sich in den Fällen der vorliegenden Studie nicht berechnen. Eventuelle  $\beta$ -Fehler werden daher im Einzelfall im Rahmen der Diskussion bewertet (vgl. Kap. VII 1.4).

Auf eine mögliche Bonferroni-Korrektur des Signifikanzniveaus bei Mehrfachvergleichen (Zöfel 2002, S. 69) wird aus zwei Gründen verzichtet: Zum

einen wird die jeweilige Prüfstatistik nur hypothesengeleitet eingesetzt (vgl. Perneger 1998, S. 1238). Zum anderen werden Mehrfachvergleiche nur nach der Feststellung eines signifikanten Unterschieds über mehrere Gruppen hinweg durchgeführt: „If the global null hypothesis is rejected proceed with level  $\alpha$  tests for the (...) pair-wise comparison“ (Bender & Lange 2001, S. 345, vgl. auch Zöfel 2002, S. 69). Vergleichbar sehen auch Diehl & Arbinger (2001, S. 235) „ein solches Vorgehen“ im Rahmen „einer derartigen zweistufigen Prozedur“ als „legitim“ an.

Die Auswahl geeigneter statistische Prüfverfahren setzt die Überprüfung der Normalverteilung der Daten durch den Anpassungstest nach Kolmogorov-Smirnov voraus (Zöfel 2002, S. 77 f. u. S. 85), der überprüft, „how well a random sample of data fits a particular distribution (Norusis 1993, S. 384). Die Analyse ergibt, dass nicht in allen Fällen normalverteilte Daten vorliegen (vgl. Anh. 55). Deshalb wird der Empfehlung von Zöfel (2002, S. 91) gefolgt, „stets parameterfreie Tests zu rechnen, um ein schwer interpretierbares Durcheinander verschiedener Tests zu vermeiden“, zudem diese eine Effizienz von „etwa 95 % des entsprechenden parametrischen Tests“ besitzen.

Veränderungen von Kennwerten über die drei Messzeitpunkte werden durch den Friedman-Test zum Vergleich von mehr als zwei abhängigen Stichproben überprüft. Dabei klärt der Test nicht, „welche Zeitpunkte sich im Einzelnen signifikant unterscheiden“ (Zöfel 2002, S. 174). Diese werden paarweise mit dem Wilcoxon Vorzeichen-Rangtest (verkürzt Wilcoxon-Test) „zum Vergleich zweier abhängiger Stichproben bzgl. ihrer zentralen Tendenzen“ (Zöfel 2002, S. 111) getestet.

Statistische Vergleiche von mehr als zwei unabhängigen Stichproben werden mit dem H-Test nach Kruskal & Wallis (verkürzt Kruskal-Wallis-Test) durchgeführt. Er prüft, „ob zwischen de[re]n mittleren Rängen (...) signifikante Unterschiede bestehen“ (Diehl & Staufenbiel 2002, S. 282). Im Falle solcher Unterschiede dient der U-Test von Mann & Whitney (verkürzt Mann-Whitney-Test) zur paarweisen Prüfung, „ob sich die mittleren Ränge von zwei unabhängigen Stichproben signifikant unterscheiden“ (Diehl & Staufenbiel 2002, S. 219).

Die vier bisher genannten Tests setzen mindestens Ordinalskalenniveau voraus, was für alle überprüften Variablen gilt.

Zusammenhänge zwischen diesen Variablen werden einheitlich über die Rangkorrelation nach Spearman überprüft. Der Korrelationskoeffizient Spearman-Rho ist bei ordinalskalierten bzw. intervallskalierten Variablen ohne Normalverteilung einzusetzen (Zöfel 2002, S. 126).

Nominalskalierte Daten werden „in Form einer Kreuztabelle miteinander in Beziehung gebracht“ (Zöfel 2002, S. 152) und die Nullhypothese überprüft, ob sich „beobachtete und erwartete Häufigkeiten (...) nirgends unterscheiden“ (Zöfel 2002, S. 156). Da i.d.R. die Voraussetzung für den üblicherweise angewandten Chiquadrat-Mehrfelder-Test – „die erwarteten Häufigkeiten in den Feldern der Kreuztabelle müssen mindestens den Wert 5 haben; in 20 % der Felder sind Werte  $< 5$  erlaubt“ (Zöfel 2002, S: 157) – nicht gilt, wird der exakte Test nach Fisher & Yates (verkürzt exakter Fisher-Test) verwendet, über den das Signifikanzniveau exakt bestimmbar ist. Dabei wird der Empfehlung von Diehl & Staufenbiel (2002, S. 212) gefolgt, den Test im Sinne der Einheitlichkeit bei allen Kreuztabellen einzusetzen.

Im Falle von abhängigen Stichproben, d.h. bei unterschiedlichen Messzeitpunkten, werden die Veränderungen nominaler Daten mit dem Chiquadrat-Test nach McNemar (verkürzt McNemar-Test) auf Signifikanz getestet (vgl. Zöfel 2002, S. 166).

Da die verwendeten nichtparametrischen Verfahren sich auf Unterschiede in zentralen Tendenzen beziehen, werden die Daten in Boxplots dargestellt, die neben dem Median die vier Quartile des Kennwerts aufzeigen (Zöfel 2002, S. 250).

## **6. Untersuchungsdesign**

Das quasi-experimentelle Design (vgl. Kap. V 3.) umfasst vier Testgruppen, eine Experimental- und drei Kontrollgruppen (Abb. 23). Dabei wird ein Prä-Posttest-Design mit einem Follow-up-Test nach sechs Wochen (Vortest, Nachtest I und Nachtest II) angewandt.

Allen Interventions-Gruppen (d.h. außer der externen Kontrollgruppe III) werden im Unterricht identische Lerninhalte vermittelt. Das bedeutet, dass in den Kontrollgruppen im Rahmen eines problemorientierten Unterrichts dieselben Experimente besprochen werden, die in der Experimentalgruppe zusätzlich selbsttätig durchgeführt werden (vgl. Kap. III 2.2 u. 2.4). Alle Unterrichtsgruppen

werden vom Versuchsleiter unterrichtet, um den Faktor Lehrperson konstant zu halten (vgl. Kap. V 1.1).

Lernort	L a b o r		S c h u l e	
Gruppe	Experimental-Gruppe	Labor-Gruppe (Kontrolle I)	Schul-Gruppe (Kontrolle II)	externe Kontroll-Gruppe (Kontrolle III)
Messzeitpunkt I	Vortest	Vortest	Vortest	Vortest
Zeitdifferenz	eine Woche			
Intervention	<i>experimentelle</i> Erarbeitung	<i>nicht experimentelle</i> Erarbeitung	<i>nicht experimentelle</i> Erarbeitung	keine Intervention
Messzeitpunkt II	Nachtest I	Nachtest I	Nachtest I	Nachtest I
Zeitdifferenz	sechs Wochen			
Messzeitpunkt III	Nachtest II	Nachtest II	Nachtest II	Nachtest II

**Abb. 23: Untersuchungsdesign der Studie**

Die einzelnen Gruppen werden im Folgenden kurz vorgestellt:

- **Experimental-Gruppe:**

Als Experimental-Gruppe dienen solche Kurse, die das experimentelle Modul im Lernort Labor bearbeiten (vgl. Kap. III 2.2).

- **Labor-Gruppe:**

Die Labor-Gruppe (Kontrolle I) erhält am Lernort Labor einen nicht experimentellen Unterricht ohne weiteren Zeitausgleich, da die Voruntersuchung gezeigt hat, dass ein Zeitzuschlag ohne neue inhaltliche Informationen eher zu einem verminderten Lernerfolg führt (vgl. Kap. V 2.2.2). Der Vergleich mit der Experimental-Gruppe sollte die Bedeutung der selbst durchgeführten Experimente aufzeigen.

- **Schul-Gruppe:**

Die Schul-Gruppe (Kontrolle II) erhält den Unterricht ohne eigene Experimente an der jeweiligen Schule. Der Vergleich mit der Experimental-Gruppe sollte den Einfluss der durchgeführten Experimente sowie des außerschulischen Lernorts aufzeigen; der gleichzeitige Vergleich mit der nicht experimentellen Labor-Gruppe (Kontrolle I) zeigt speziell den möglichen Einfluss des Lernorts Labor bei gleichem Unterricht.

- **Externe Kontroll-Gruppe:**

Die externe Kontroll-Gruppe (Kontrolle III) erhält keinerlei zusätzlichen Unterricht. Diese Schüler absolvieren an ihrer Schule nur die drei Tests (vgl. Kap. V 2.2.4) und ermöglichen so die Überprüfung folgender Faktoren im Hinblick auf die Validität der Studie: Testeinfluss ohne Unterricht (Pretest – Effekt), Bedeutung

eventueller Reifungsvorgänge, Bedeutung eventueller äußerer Einflüsse z.B. durch Medienberichte auf Grund besonderer aktueller Vorfälle (vgl. Bortz & Döring 1995, S. 472, Hofstein & Lunetta 1982, S. 204).

## VI. Ergebnisse<sup>14</sup>

### 1. Befunde zum Subtest Akzeptanz

#### 1.1 Resultate der Gesamtgruppe

Die Akzeptanz der Unterrichtsveranstaltung wurde im Nachtest I als aktuelle Akzeptanz direkt im Anschluss an den Unterricht und im Nachtest II als rückblickende Akzeptanz aus der Rückschau heraus erfasst. Für beide Messzeitpunkte ist die Akzeptanz hoch (Abb. 24).

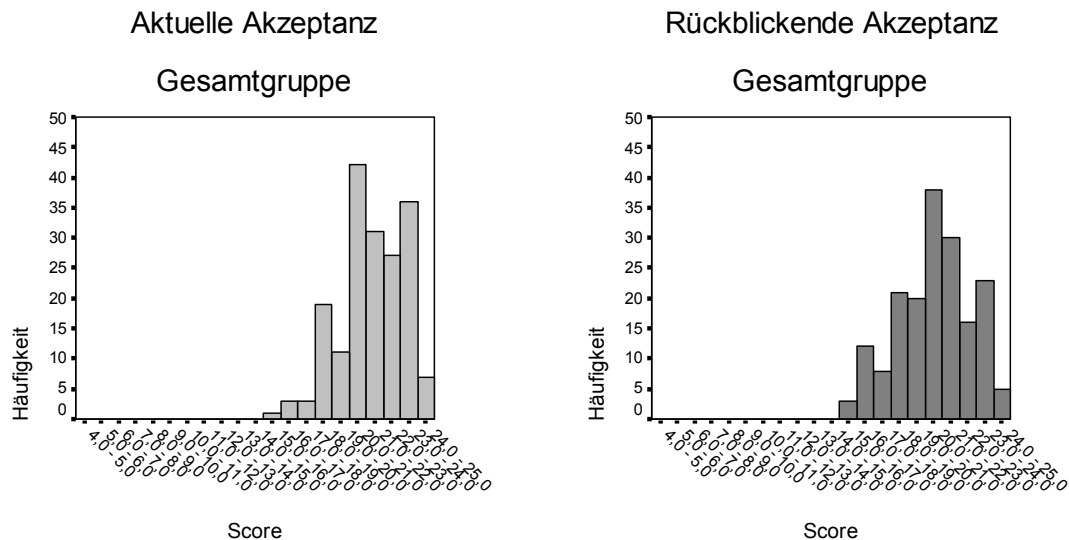


**Abb. 24: Aktuelle (NT I) und rückblickende (NT II) Akzeptanz der Unterrichtsveranstaltung: signifikante Abnahme (die durchbrochenen Linien verdeutlichen die minimal bzw. maximal möglichen Scores)**

Die Antworttendenzen (Abb. 25) zeigen einen Deckeneffekt an. In beiden Fällen liegen die Werte aller Schüler über 50 % des maximal möglichen Wertes, d.h. unabhängig von den einzelnen Teilgruppen wird der Unterricht insgesamt sehr positiv bewertet.

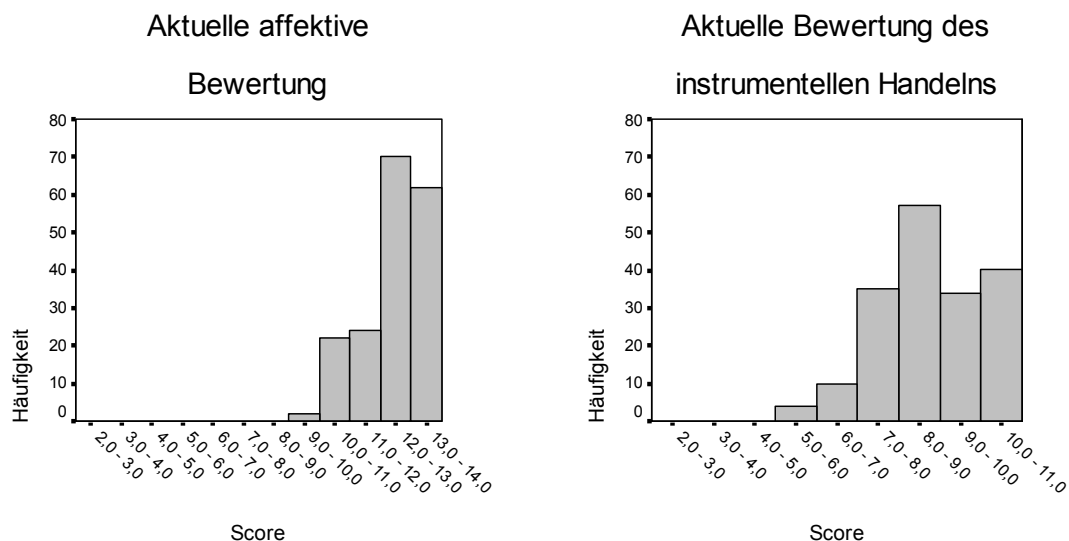
Dabei wird die Unterrichtsveranstaltung rückblickend signifikant niedriger bewertet (Wilcoxon-Test:  $p < 0,001$ , vgl. Anh. 56, 1.).

<sup>14</sup> Die deskriptive Statistik aller Variablen zu den drei Subtests ist in Anh. 68 zusammengefasst.



**Abb. 25:** Antworttendenzen der aktuellen und der rückblickenden Akzeptanz der Unterrichtsveranstaltung in der Gesamtgruppe (dargestellt ist der Bereich zwischen dem Minimal- und dem Maximalwert)

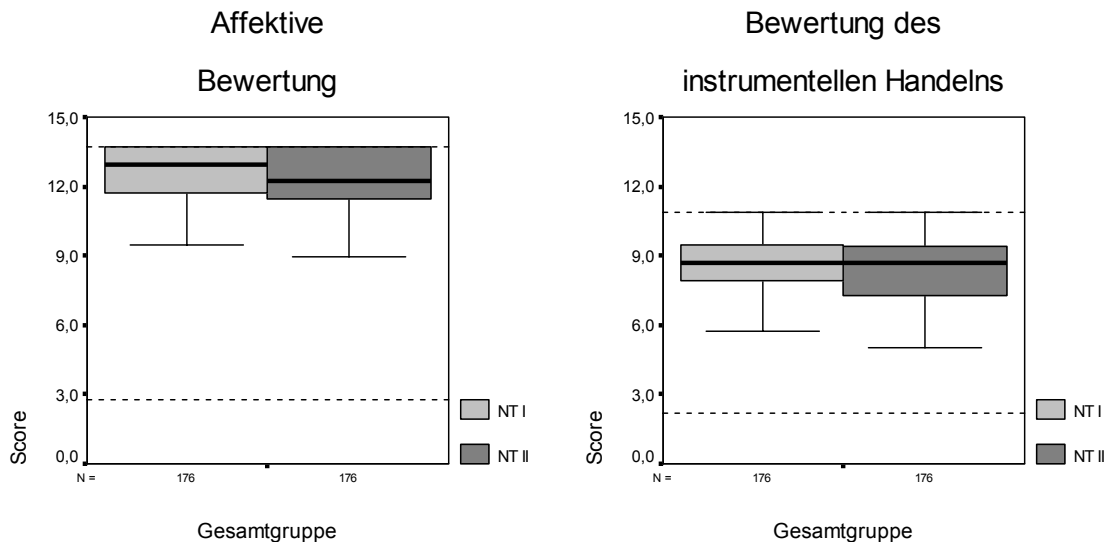
Die Betrachtung der beiden Akzeptanzfaktoren (vgl. Kap. V 4.2.2.2) zeigt, dass für die aktuelle Akzeptanz die Bedeutung der affektiven Bewertung höher ist als der Einfluss der Bewertung des eigenen Handelns im Unterricht, der Deckeneffekt ist beim ersten Faktor stärker ausgeprägt (vgl. Abb. 26). Vergleichbar sind die Verhältnisse bei der rückblickenden Akzeptanz (vgl. Anh. 56, 2.).



**Abb. 26:** Antworttendenzen der beiden aktuellen Akzeptanzfaktoren affektive Bewertung und Bewertung des instrumentellen Handelns (dargestellt ist der Bereich zwischen dem Minimal- und dem Maximalwert)

Der Rückgang vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt ist in beiden Fällen signifikant (Abb. 27, vgl. im Detail Anh. 56, 3.).





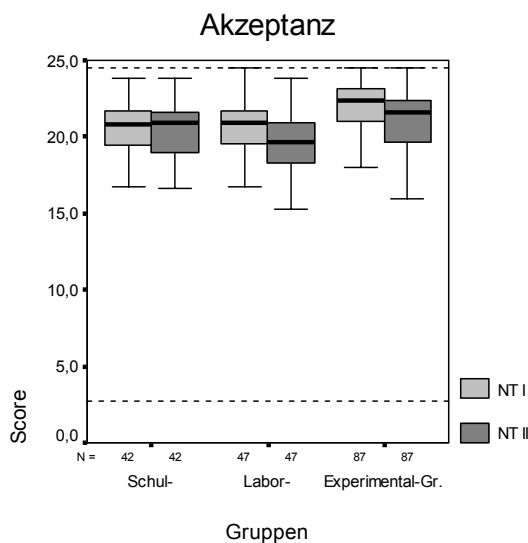
**Abb. 27: Aktuelle (NT I) und rückblickende (NT II) Scores der beiden Akzeptanzfaktoren: Abnahme jeweils signifikant (die Linien verdeutlichen die minimal bzw. maximal mögliche Werte)**

Es lassen sich keine geschlechts- oder schulzweigspezifischen Unterschiede - bezogen auf den mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig - in der Akzeptanz der Unterrichtsveranstaltungen feststellen, weder auf der Ebene der Gesamtskala noch auf der Ebene der beiden Faktoren (Mann-Whitney-Test: p-Werte zwischen 0,076 und 0,955, vgl. im Detail Anh. 56, 4. u. 5.). Gleiches gilt für die Zusammenhänge mit der unterrichtlichen Experimentiererfahrung über Demonstrationsexperimente (Spearman-Rho nicht signifikante r-Werte  $\leq 0,111$ ), im Gegensatz dazu zeigen alle Akzeptanzvariablen sehr geringe bis geringe signifikanten Korrelationen zu der eigenen Experimentiererfahrung über Schülerexperimente (Spearman-Rho signifikante r-Werte zwischen 0,153 u. 0,229, vgl. insgesamt im Detail Anh. 56, 6.) Außerdem zeigt der Score der aktuellen Akzeptanz eine sehr geringe signifikante Korrelation zu den vorherigen schulischen Leistungen der Schüler, alle anderen Scores nicht (Spearman-Rho Score aktuelle Akzeptanz  $r = 0,154$ , sonstige nicht signifikante r-Werte  $\leq 0,123$ , vgl. im Detail Anh. 56, 7.).

## 1.2 Vergleich der Unterrichtsgruppen

### 1.2.1 Betrachtung der Akzeptanz-Scores

Trotz des Deckeneffekts in der Gesamtgruppe unterscheiden sich die drei Unterrichtsgruppen (die Schul-, die nicht experimentelle Labor- und die Experimental-Gruppe) signifikant in allen sechs berechneten Akzeptanz-Scores (vgl. Abb. 28, Kruskal-Wallis-Test: p-Werte zwischen  $< 0,001$  und  $0,040$ , vgl. im Detail Anh. 57, 1.).



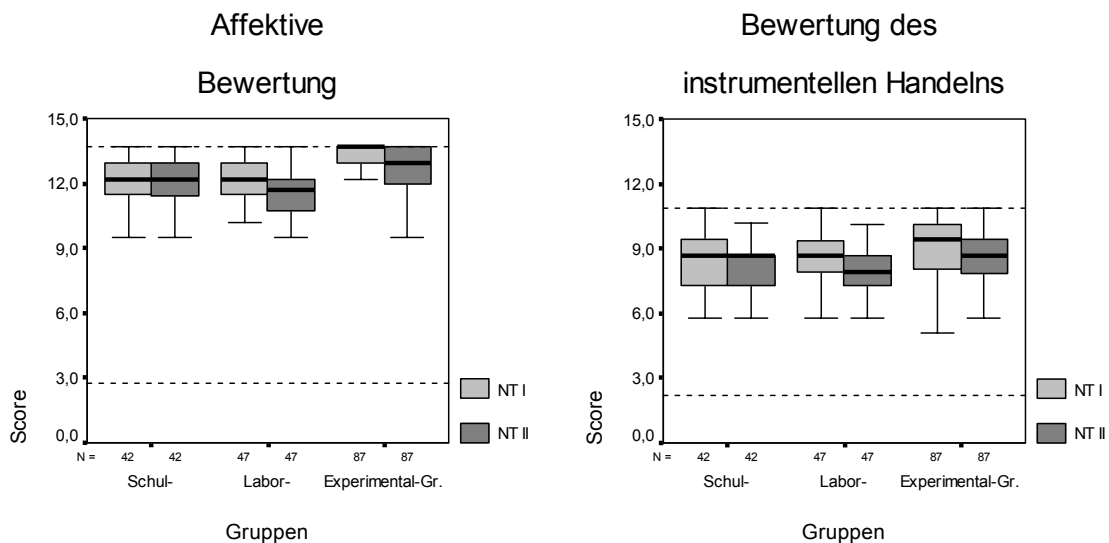
**Abb. 28: Vergleich der aktuellen (NT I) und rückblickenden (NT II) Akzeptanz der Unterrichtsveranstaltungen zwischen den drei Unterrichtsgruppen: signifikante Unterschiede zwischen der Experimental- Gruppe und den beiden nicht experimentellen Unterrichtsgruppen (weitere Details im Text; die Linien verdeutlichen die minimal bzw. maximal mögliche Werte)**

Die paarweise Analyse ergibt, dass die Schüler der Experimental-Gruppe die Unterrichtsveranstaltung insgesamt signifikant höher akzeptieren als die Schüler der beiden anderen Unterrichtsgruppen, und zwar sowohl aktuell als auch rückblickend (Abb. 28, Mann-Whitney-Tests: p-Werte zwischen  $< 0,001$  und  $0,015$ , vgl. im Detail Anh. 57, 2.).

Die beiden nicht experimentellen Unterrichtsgruppen unterscheiden sich im Nachtest I nicht; rückblickend im NT II bewerten die Schüler, die den Unterricht ohne Experimente im Labor erlebt haben, die Unterrichtsveranstaltung signifikant niedriger (Mann-Whitney-Test: NT I  $p = 0,885$ , NT II  $p = 0,028$ , vgl. im Detail Anh. 57, 2.1).

Die bei der Labor- und bei der Experimental-Gruppe feststellbare Verminderung der Akzeptanz aus der zeitlichen Rückschau heraus (Abb. 28) ist jeweils signifikant

(Wilcoxon-Tests: Labor- u. Experimental-Gr.  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 57, 3.2 u. 3.3).

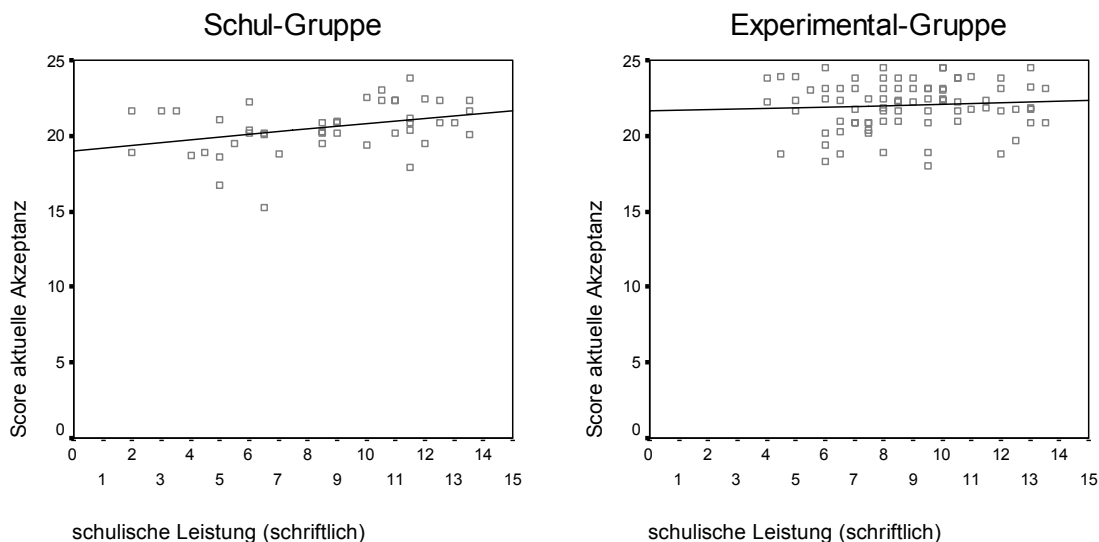


**Abb. 29: Vergleich der Unterrichtsgruppen in Bezug auf die beiden Akzeptanzfaktoren zu den zwei Messzeitpunkten: signifikante Unterschiede zwischen der Experimental-Gruppe und den beiden nicht experimentellen Unterrichtsgruppen (Schul- u. Labor-Gruppe, weitere Details im Text, die Linien verdeutlichen jeweils die minimal bzw. maximal mögliche Werte)**

Für die beiden Faktoren affektive Bewertung und Bewertung des instrumentellen Handelns ergibt sich für die Experimental-Gruppe im Nachtest I ein identisches Ergebnis wie für die gesamte Akzeptanz: Ihre Schüler bewerten die zwei Faktoren wieder höher als die Schüler der nicht experimentellen Kontrollgruppen (Abb. 29, Mann-Whitney-Tests: p-Werte zwischen  $< 0,001$  u.  $0,011$ , vgl. im Detail Anh. 57, 2.2 u. 2.3). Rückblickend sind die Verhältnisse bei der affektiven Bewertung vergleichbar, während bei der Bewertung des instrumentellen Handelns ein signifikanter Unterschied nur zur Labor-Gruppe besteht (Mann-Whitney-Tests: Experimental- vs. Schul-  $p = 0,236$ , vs. Labor-Gruppe  $p = 0,014$ , vgl. im Detail Anh. 57, 2.2 u. 2.3). Die beiden nicht experimentellen Unterrichtsgruppen unterscheiden sich im Nachtest I nicht signifikant, rückblickend im Nachtest II ist nur die affektive Bewertung bei den Schülern der nicht experimentellen Labor-Gruppe signifikant niedriger als bei den Schülern im Lernort Schule (Mann-Whitney-Tests: rückblick. affektive Bewertung Schul- vs. Labor-Gruppe  $p = 0,045$ , restliche p-Werte  $> 0,197$ , vgl. im Detail Anh. 57, 2.1).

Wie bei der Gesamtakzeptanz sind nur die bei der Labor- und der Experimental-Gruppe festgestellten Rückgänge der Faktoren-Scores signifikant (Abb. 29, Wilcoxon-Tests: p-Werte zwischen  $< 0,001$  und  $0,006$ , vgl. im Detail Anh. 57, 3.).

Die Analyse der in der Gesamtgruppe festgestellten signifikanten Korrelationen zwischen allen Akzeptanzvariablen und der eigenen Experimentiererfahrung erweisen sich auf der Ebene der Unterrichtsgruppen bis auf einen signifikant positiven Zusammenhang mit der aktuellen Akzeptanz nicht mehr als statistisch bedeutsam. Da sich allerdings die drei Unterrichtsgruppen in dieser unabhängigen Variable signifikant unterscheiden, kann dieses Ergebnis nicht weiter berücksichtigt werden (Schul-Gruppe: Spearman-Rho  $r = 0,324$ , vgl. im Detail Anh.57, 4.; eigene Experimentiererfahrung: Kruskal-Wallis-Test  $p < 0,001$ , Anh. 56, 6.)



**Abb. 30: Beispielhafter Vergleich der Korrelation zwischen den schulischen Leistungen und der Höhe der aktuellen Akzeptanz in der Schul- und Experimental-Gruppe (Spearman-Rho: Schul-Gr.  $r = 0,362$ ; Experimental-Gr.  $r = 0,078$ ).**

Die genauere Analyse des für alle Probanden vorhandenen Zusammenhangs zwischen dem Score für die aktuelle Akzeptanz und den vorherigen schulischen Leistungen der Schüler (vgl. Kap. VI 1.1) zeigt, dass nur in der Schulgruppe eine signifikante positive Korrelation vorliegt (Abb. 30, Spearman-Rho Schul-Gr.  $r = 0,362$ , sonstige nicht signifikante  $r$ -Werte  $< 0,186$ , vgl. im Detail Anh. 57, 5.). Dabei unterscheiden sich die drei Unterrichtsgruppen im Hinblick auf die bisherigen Leistungen im Unterricht nicht signifikant (Kruskal-Wallis-Test:  $p = 0,652$ , vgl. unten Kap. VI 2.3.4 u. im Detail Anh. 61, 7.3). Im Lernort Labor (nicht experimentell und

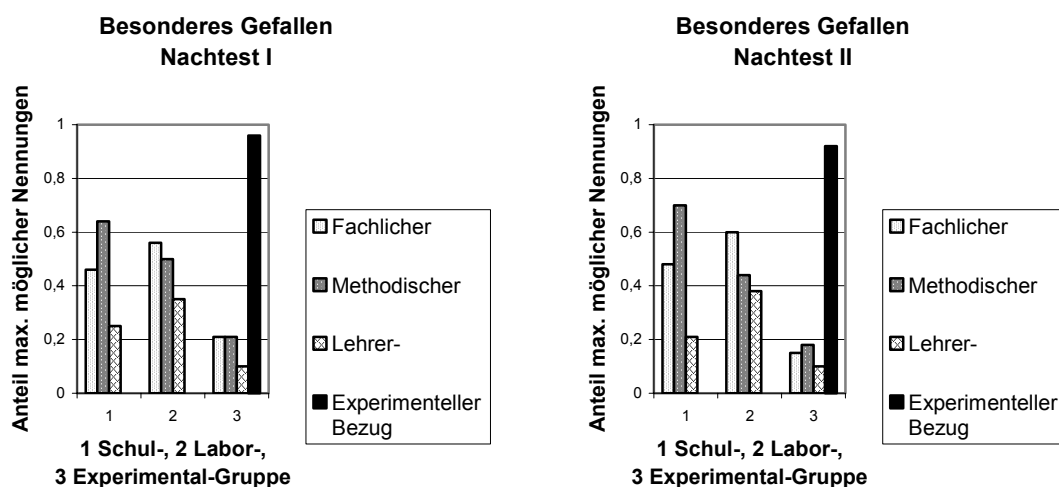
experimentell) zeigen speziell schlechtere Schüler eine höhere Akzeptanz der Unterrichtsveranstaltung.

### 1.2.2 Ergebnisse zu den Items mit Reihenantworten

Die Antworten zu den beiden Items mit Reihenantworten liefern Informationen über die inhaltliche Grundlage der festgestellten Akzeptanzunterschiede. Nach der zweistufigen Kategorisierung (vgl. Kap. V 4.2.2.1) wurde die Verteilung der einzelnen inhaltlichen Bezüge innerhalb der drei Untersuchungsgruppen verglichen.

Die Verteilung der Antworten zum Item „besonderes Gefallen“, die sich den Kategorien „keine Angabe“, „ethischer Bezug“, „Schüler-,“ oder „Gesamtbezug“ zuordnen lassen, weicht zu keinem Messzeitpunkt von der erwarteten Verteilung ab (exakter Fisher-Test: p-Werte zwischen 0,055 u. 0,893, vgl. im Detail Anh. 58, 1.). Der Anteil der Antworten zur Kategorie „Lernortbezug“ ist nur rückblickend in der Experimental-Gruppe signifikant gegenüber den beiden anderen nicht experimentellen Unterrichtsgruppen erhöht (exakter Fisher-Test: NT I  $p = 0,079$ ; NT II  $p = 0,014$ , vgl. im Detail Anh. 58, 2.).

Als entscheidend für die festgestellten Akzeptanzunterschiede können die Kategorien angesehen werden, deren Häufigkeit sich in beiden Tests signifikant unterscheidet (Abb. 31, exakter Fisher-Test: p-Werte zwischen 0,002 u.  $< 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 58, 3.1).



**Abb. 31:** Antwort-Kategorien zum „Besonderen Gefallen“, deren Verteilung zu beiden Messzeitpunkten signifikant von der erwarteten Verteilung abweicht (jeweils bezogen auf die Anzahl maximal möglichen Nennungen für jede Kategorie)

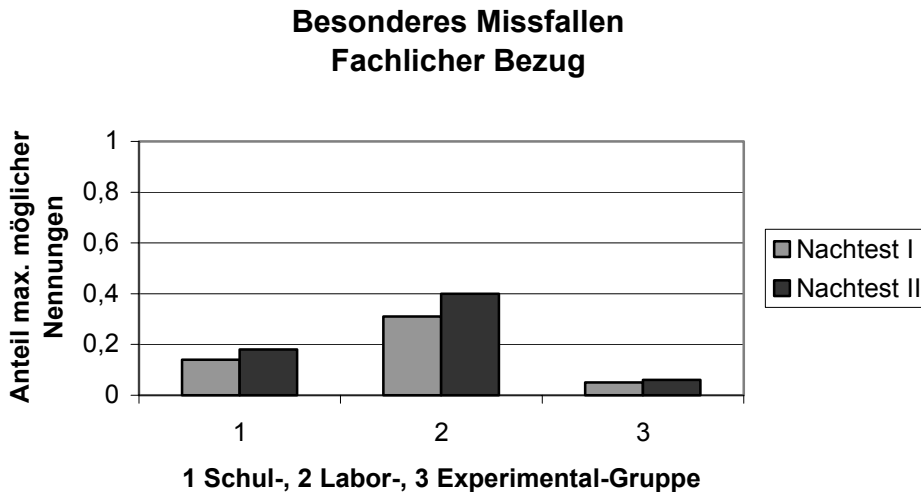
Bei den nicht experimentellen Unterrichtsgruppen dominieren:

- der fachliche Bezug, dabei gefallen vor allem die exemplarischen Beispiele des Unterrichts (vgl. Kap. III 2.2, exakter Fisher-Test: p-Werte NT I 0,002, NT II < 0,001, vgl. im Detail Anh. 58, 3.1);
- der methodischer Bezug, hier werden die eingesetzten Medien positiv bewertet und
- der Lehrerbezug, positive Lehrermerkmale werden vermehrt genannt.

Demgegenüber sind die experimentellen Bezüge für die Experimental-Gruppe deutlich überwiegend, wobei besonders das experimentelle Arbeiten allgemein bzw. dessen eigenständige Durchführung oder die Gruppenarbeit angeführt werden (269 von 411  $\leftrightarrow$  65,5 % der Angaben zu dieser Kategorie). Trotz der Behandlung der Experimente im Rahmen des problemorientierten Unterrichts wird diese Kategorie von den Schülern der Kontrollgruppen nicht verwendet. Die Veränderungen aller Gruppen vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt sind nicht signifikant (McNemar-Test: p-Werte zwischen 0,302 und 1,000, vgl. im Detail Anh. 58, 3.2), die geäußerten Eindrücke also stabil.

Paarweise Vergleiche zeigen, dass die Unterschiede zwischen den Kontrollgruppen im Nachtest I nicht signifikant sind (exakter Fisher-Test: p-Werte zwischen 0,212 u. 0,404, vgl. im Detail Anh. 58, 4.). Rückblickend bleibt in der Schul-Gruppe über den methodischen Bezug besonders der positive Eindruck der verwendeten Medien stabil, während für die Schüler der nicht experimentellen Labor-Gruppe die entsprechende Wirkung des Lehrers persistiert (exakter Fisher-Test: methodischer Bezug Schul- vs. Labor-Gr.  $p = 0,012$ ; Lehrer-Bezug Labor- vs. Experimental-Gr.  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 58, 4.).

Im Gegensatz zur positiven Frage nach dem „besonderen Gefallen“ beantworten wesentlich mehr Schüler das Item zum „besonderen Missfallen“ entweder überhaupt nicht (41,7 vs. 1,8 %) oder machen nur eine Angabe (81,3 vs. 19 %). Dies bestätigt die insgesamt hohe Akzeptanz aller Veranstaltungen.



**Abb. 32:** Antwortkategorie zum „Besonderen Missfallen“, deren Verteilung zu beiden Messzeitpunkten signifikant von der erwarteten Verteilung abweicht (bezogen auf die maximal möglichen Nennungen für die Kategorie)

Zu beiden Messzeitpunkten weicht nur die Kategorie „fachlicher Bezug“ signifikant von der erwarteten Verteilung zwischen den drei Unterrichtsgruppen ab (Abb. 32) (exakte Fisher-Tests: NT I u. II  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 58, 5.). Negative Charakterisierungen der Lerninhalte wie „teilweise zu kompliziert“ bzw. das Missfallen einzelner Lerninhalte, z.B. der „Vorgänge bei der Genübertragung“ (vgl. Anh. 42, 2.), überwiegen in den nicht experimentellen Unterrichtsgruppen (exakte Fisher-Tests: p-Werte NT I 0,009 u. 0,008, NT II  $< 0,001$  u. 0,002, vgl. im Detail Anh. 58, 5.). Der paarweise Vergleich ergibt, dass speziell in der nicht experimentellen Labor-Gruppe die entsprechenden Angaben zum Missfallen zu beiden Messzeitpunkten gegenüber der Experimental-Gruppe signifikant erhöht sind (exakte Fisher-Tests: Labor- vs. Experimental-Gruppe NT I u. II  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 58, 6.1), im Vergleich zur Schul-Gruppe liegen die vermehrten Angaben im Nachtest I direkt über der Signifikanzgrenze, während im Nachtest II das Signifikanzniveau unterschritten wird (exakte Fisher-Test: Schul- vs. Labor-Gruppe NT I  $p = 0,051$ , NT II  $p = 0,038$ , vgl. im Detail Anh. 58, 6.1). Rückblickend sind auch die Nennungen zum Missfallen in der Schul-Gruppe gegenüber der Experimental-Gruppe signifikant höher (exakte Fisher-Tests: Schul- vs. Experimental-Gr. NT I  $p = 0,083$ , NT II  $p = 0,031$ , vgl. im Detail Anh. 58, 6.1). Die Veränderungen zwischen den beiden Messzeitpunkten selbst sind bei allen drei Teilgruppen nicht signifikant (McNemar-Tests: p-Werte zwischen 0,281 u. 1,000, vgl. im Detail Anh. 58, 6.2). Insgesamt sprechen diese Ergebnisse dafür, dass sich die Schüler der nicht experimentellen Unterrichtsgruppen im Gegensatz zur Experimental-Gruppe, speziell aus der

Rückschau heraus, eher überfordert gefühlt haben. Neben den oben bereits genannten Schüleräußerungen zum „besonderen Missfallen“ weisen auch die folgenden aus dem Nachtest II beispielhaft darauf hin: „Zu komplexer Themenbereich“, „Viele neue Aspekte auf einmal“ und „Viele Fachbegriffe (z. T. unbekannt)“.

### **1.3 Teilzusammenfassung**

Im Folgenden sind die Ergebnisse zum Subtest Akzeptanz zusammengefasst:

- Die Akzeptanz aller getesteten Unterrichtsveranstaltungen zu zentralen Aspekten und Methoden der Gentechnik ist hoch.
- Trotz des Deckeneffekts ist die Akzeptanz des Experimentalunterrichts im Lernort Labor signifikant höher als die Akzeptanz eines vergleichbaren, nicht experimentellen Unterrichts, unabhängig von dessen Lernort (Labor oder Schule).
- Dies gilt auch für die Höhe der beiden identifizierten Faktoren affektive Bewertung und Bewertung des unterrichtlichen Handelns.
- Aktuell lassen sich zwischen den nicht experimentellen Gruppen keine Unterschiede in der Akzeptanz feststellen. Rückblickend bewerten die Schüler der nicht experimentellen Labor-Gruppe den Unterricht insgesamt niedriger als sie Probanden der Schul-Gruppe; dies beruht auf einem geringeren Score in der affektiven Bewertung.
- Signifikante Einflüsse der unabhängigen Variablen Geschlecht, Schulzweig und unterrichtliche Experimentiererfahrung auf die Akzeptanz lassen sich nicht feststellen, eine statistisch bedeutsame Korrelation zu den vorherigen schulischen Leistungen findet sich nur in der Schul-Gruppe für die aktuelle Akzeptanz.
- Die inhaltlichen Grundlagen der Akzeptanz liegen bei den nicht experimentellen Unterrichtsgruppen im fachlichen und methodischen Bereich sowie in der Lehrperson, während für die Schüler der Experimental-Gruppe experimentelle Bezüge entscheidend sind. Rückblickend dominieren in der Schul-Gruppe vor allem die eingesetzten Medien, während in der nicht experimentellen Labor-Gruppe die Wirkung des Lehrers persistiert. Dabei fühlen sich Schüler der beiden nicht experimentellen Gruppen (Schul- und Labor-Gruppe) eher von den vermittelten Inhalten überfordert.



## 2. Befunde zum Subtest Wissenserwerb

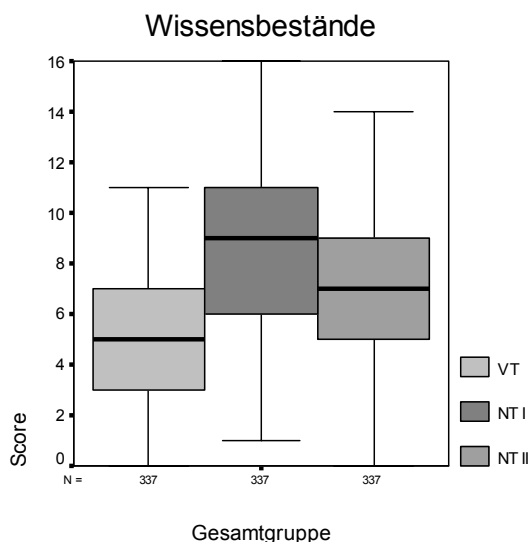
Bevor im Folgenden die Ergebnisse dieses Subtests dargestellt werden, ist eine Vorbemerkung notwendig:

Die Analyse der Ergebnisse in der externen Kontrollgruppe ergab, dass in einer Teilgruppe dieser Probanden möglicherweise ein Lehrereinfluss vorliegt, da ohne unterrichtliche Intervention eine signifikante schrittweise Verbesserung nachweisbar ist (veröffentlicht in Scharfenberg et al. eingereicht, vgl. Anh. 59). Die davon betroffenen Schüler wurden für die weitere Auswertung nicht berücksichtigt, so dass sich die Stichprobe auf 337 Probanden verringerte.

### 2.1 Resultate der Gesamtgruppe

#### 2.1.1 Kognitive Veränderungen in der Gesamtgruppe

Die Wissensbestände der Schüler wurden im Vortest als vorhandenes Wissen, im Nachtest I - im Anschluss an die Unterrichtsveranstaltung - als aktuelles und im Nachtest II - im Mittel nach 46 Tagen (vgl. Kap. V 4.1) - als persistentes Wissen erfasst (Abb. 33).

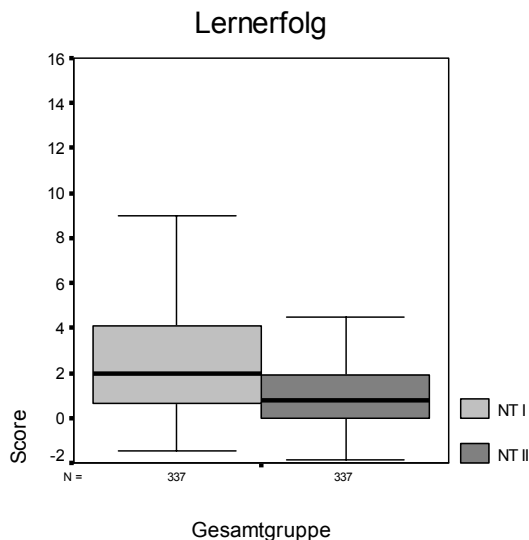


**Abb. 33: Veränderung der Wissensbestände in der Gesamtgruppe über die drei Messzeitpunkte: vorhandenes (VT), aktuelles (NT I) u. persistentes Wissen (NT II)**

Die kognitiven Veränderungen über die drei Messzeitpunkte hinweg sind signifikant (Friedman-Test:  $p < 0,001$ , Wilcoxon-Tests:  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 60. 1.1). Damit wird erreicht die Gesamtgruppe einen Wissenszuwachs vom Vor- zum

Nachtest, behält einen Teil ihres Wissens über die Intervention hinaus und vergisst einen anderen Anteil ihres aktuellen Wissens wieder (vgl. im Detail Anh. 60, 1.2).

Die Unterrichtsveranstaltungen bewirken einen messbaren aktuellen kognitiven Lernerfolg (Abb. 34, vgl. Kap. V 5.1), der bis zum dritten Messzeitpunkt (berechnet als persistenter Lernerfolg) signifikant abnimmt (Wilcoxon-Test:  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 60, 2.).

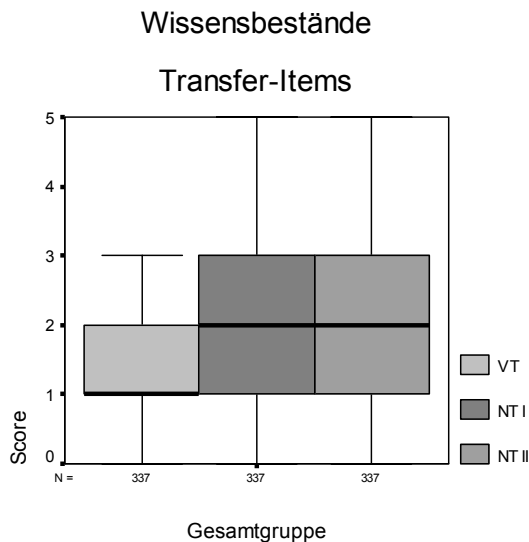


**Abb 34: Aktueller (NT I) und persistenter (NT II) kognitiver Lernerfolg der Gesamtgruppe (berechnet aktuell als Wissenszuwachs x Anteil an maximal möglichem Wissen bzw. persistent als Behaltensleistung x Anteil an maximal möglichem Wissen)**

Eine genauere Analyse des Wissenserwerbs ermöglichen das Anforderungsniveau der Items und deren inhaltlicher Bezug (vgl. Kap. V 4.3.1 u. Tab. 22).

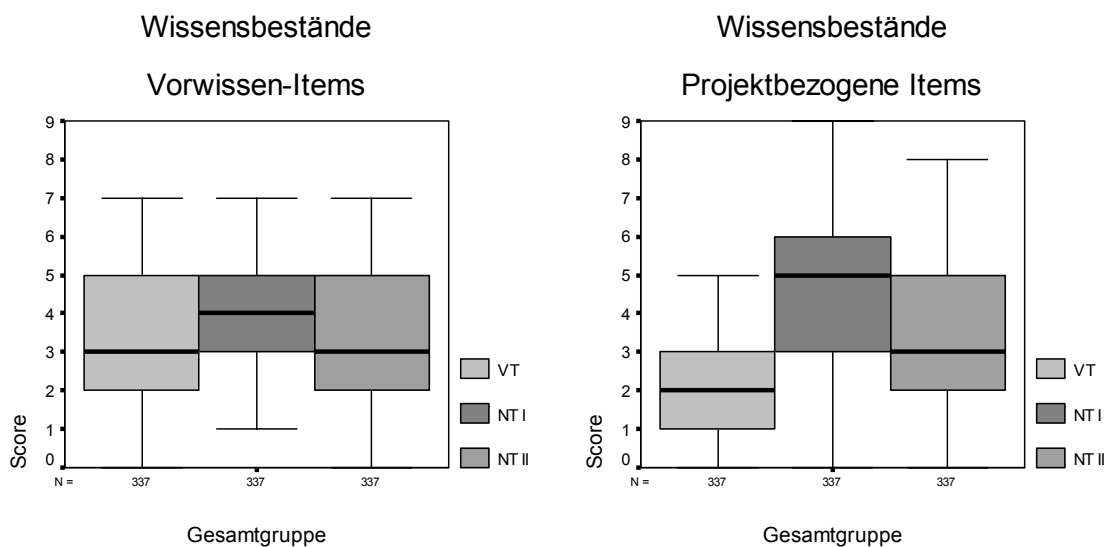
Zunächst werden die fünf Items mit der höchsten Anforderungsstufe Transfer herausgegriffen (Abb. 35).

Die Schüler lernen in diesem Bereich signifikant dazu (Vergleich VT/NT I), erwerben persistentes Wissen (Vergleich VT/NT II) und vergessen einen Teil ihres Wissens wieder (Vergleich NT I/NT II; Friedman-Test:  $p < 0,001$ ; Wilcoxon-Tests:  $p$ -Werte  $< 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 60, 3.).



**Abb. 35: Vergleich der Wissensbestände zu den fünf Items mit der Anforderungsstufe Transfer zu den drei Messzeitpunkten**

Die Auswertung mit Hilfe der latenten Klassenanalyse differenzierte die 16 Testitems des Subtests Wissenerwerb inhaltlich in sieben Items, die sich auf vorhandenes Vorwissen beziehen (Vorwissen-Items), und neun projektbezogene Items, die spezifisches Wissen der Unterrichtsveranstaltung erfassen (vgl. Kap. V 4.3.2.2).



**Abb. 36: Vergleich der Wissensbestände bezogen auf die beiden inhaltlich differenzierten Itemgruppen zu den drei Messzeitpunkten (sieben Items mit Vorwissen- u. neun Items mit Projektbezug, weitere Details im Text)**

Der Vergleich über die drei Messzeitpunkte (vgl. Abb. 36) weist für beide Itemgruppen signifikante Veränderungen nach. Die genauere Analyse zeigt, dass, die Schüler sowohl im Vorwissen- als auch im Projekt-Bereich lernen und einen Teil ihres Wissens wieder vergessen, allerdings nur bei den projektbezogenen Items ein persistentes Wissen erreichen. Die Aktualisierung des Vorwissens erweist sich als

nicht stabil (Friedman-Tests:  $p < 0,001$ ; Wilcoxon-Tests: Vorwissen-Items Vergleich VT/NT II  $p = 0,051$ , restliche  $p$ -Werte  $< 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 60, 4.).

### 2.1.2 Beziehungen zu anderen Variablen

Für die unabhängigen Variablen Geschlecht und Schulzweig – bezogen auf den mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig (MNG vs. nicht-MNG) – lassen sich nur wenige statistisch bedeutsame Unterschiede feststellen (Tab. 37, weitere, nicht signifikante Unterschiede: Mann-Whitney-Tests mit  $p$ -Werten zwischen 0,052 u. 0,955, vgl. im Detail Anh. 60, 5. u. 6.):

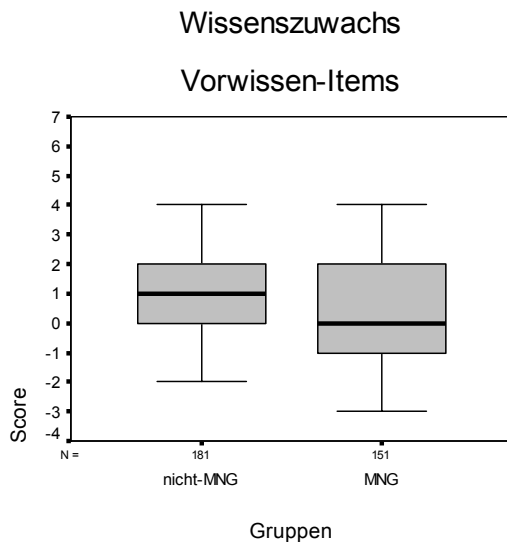
**Tab. 37: Berechnete Größen (als abhängige Variablen) mit signifikanten Unterschieden in der Gesamtgruppe in Bezug auf die unabhängigen Variablen Geschlecht und Schulzweig (MNG).**

Unabhängige Variable	Abhängige Variable	Mann-Whitney-Test
Geschlecht	VT Score projektbezogene Items	$p = 0,012$
	NT II Score Vorwissen-Items	$p = 0,017$
Schulzweig (MNG vs. nicht-MNG)	Vorhandenes Wissen	$p = 0,001$
	Aktuelles Wissen	$p = 0,037$
	Persistentes Wissen	$p = 0,037$
	VT Score Vorwissen-Items	$p = 0,001$
	VT Score projektbezogene Items	$p = 0,029$
	NT Score Vorwissen-Items	$p = 0,005$
	Wissenszuwachs Vorwissen-Items	$p = 0,011$

Im Bereich der inhaltlichen Differenzierung, bei den projektbezogenen Items im Vortest und bei den Vorwissen-Items im Nachtest II, zeigen die Jungen signifikant höhere Scores als die Mädchen (vgl. im Detail Anh. 60, 5.6). Bereits auf der Ebene der Differenzgrößen (Wissenszuwachs der projektbezogenen bzw. Behaltensleistung der Vorwissen-Items) sind keine statistisch bedeutsamen Unterschiede mehr vorhanden (Mann-Whitney-Tests:  $p$ -Werte 0,264 bzw. 0,207, vgl. im Detail Anh. 60, 5.5). Somit sind die beiden geschlechtsspezifisch unterschiedlichen Variablen als nicht bedeutend einzustufen.

Bezogen auf den mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig besitzen die Schüler dieser Ausbildungsrichtung zwar zu allen drei Messzeitpunkten signifikante höhere Wissens-Scores, diese Unterschiede sind jedoch auf der Ebene der Differenzgrößen und des Lernerfolgs nicht mehr statistisch bedeutsam (Mann-Whitney-Tests:  $p$ -Werte zwischen 0,562 u. 0,955, vgl. im Detail Anh. 60, 6.2 u. 3.).

Bei den Vorwissen- bzw. den projektbezogenen Items besitzen die Schüler des MNG-Zweiges signifikant höhere Scores bei beiden Itemgruppe im Vortest und bei der ersteren auch im Nachtest I.



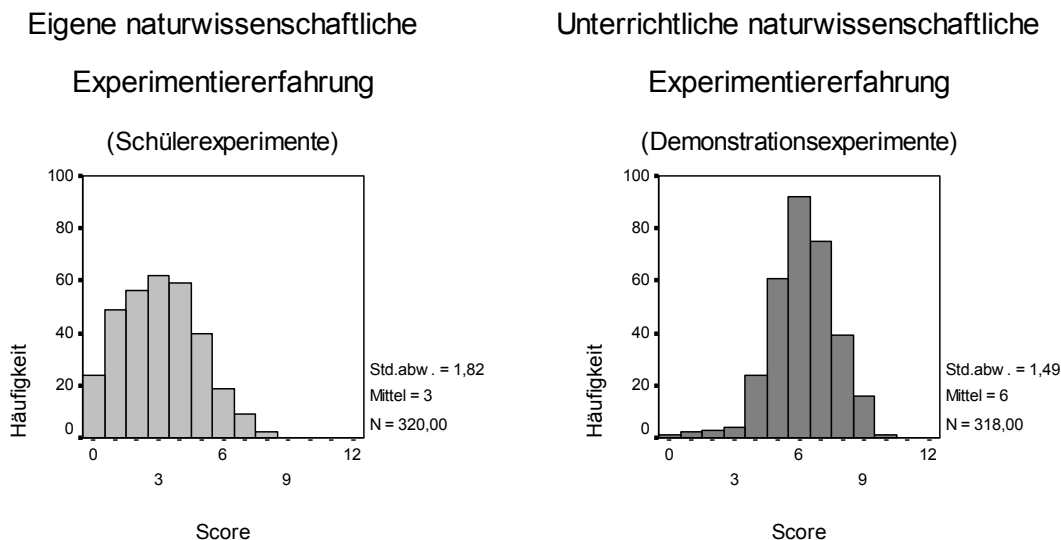
**Abb. 37: Schulzweigabhängiger Vergleich des Wissenszuwachses (Differenz NT I – VT) bei den Vorwissen-Items: signifikant höherer Score bei den Schülern der nicht-MNG-Schulzweige im Vergleich zu den Schülern des MNG-Zweiges**

Beim Wissenszuwachs (Differenz NT I – VT, Abb. 37) kehren sich die Verhältnisse um, die Schüler der nicht-MNG-Zweige erreichen einen geringen, aber signifikant besseren Wert (Median 1,0), die Aktualisierung des Vorwissens bei den mat.-nat. Schülern gelingt im Mittel nicht (Median 0,0, Mann-Whitney-Tests: p-Werte zwischen 0,001 u. 0,029, vgl. im Detail Anh. 60, 6.5). Damit erscheint der Wissenszuwachs als beachtenswert für die spätere Analyse auf der Ebene der Untersuchungsgruppen (vgl. Kap. VI 2.3.4).

Sehr geringe bis geringe signifikante positive Zusammenhänge finden sich in der Gesamtgruppe zwischen der unterrichtlichen Erfahrung der Schüler mit Demonstrationsexperimenten in den naturwissenschaftlichen Fächern und den dauerhaften Lernleistungen bzw. dem Lösen der Aufgaben mit der Anforderungsstufe Transfer (Spearman-Rho: r-Werte zwischen 0,118 u. 0,202, vgl. im Detail Anh. 60, 6.6.2).

Statistisch bedeutsame Zusammenhänge mit der entsprechenden eigenen experimentellen Erfahrung über Schülerexperimente sind nicht nachweisbar. Dies könnte am sehr geringen Umfang des selbsttätigen Experimentierens im bisherigen Unterricht liegen (Abb. 38). Die Antworttendenzen zeigen einen klaren Bodeneffekt

mit einer Mehrheit von 59,7 % der Einschätzungen im Bereich der Kategorien „gar nicht“ bis „selten“, demgegenüber liegen nur 3,1 % der Bewertungen zur unterrichtlichen Experimentiererfahrungen in diesen Kategorien (vgl. im Detail Anh. 60, 6.6.1).



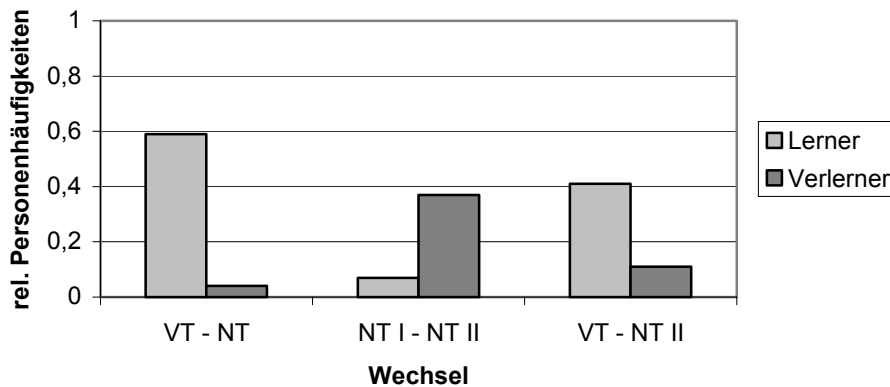
**Abb. 38: Antworttendenzen zur Häufigkeit der eigenen und der unterrichtlichen Experimentiererfahrungen der Schüler in den naturwissenschaftlichen Fächern (Summe der Einschätzungen für den Unterricht in Biologie, Chemie u. Physik, fachbezogene Skalierung: 0 nie, 1 selten, 2 gelegentlich, 3 oft, 4 immer)**

Weitere signifikante positive Zusammenhänge bestehen zwischen den schulischen Leistungen und den Wissensbeständen zu den drei Messzeitpunkten sowie zu aktuellen bzw. dauerhaften Lernleistungen (Wissenszuwachs und Behaltensleistung). Dies gilt sowohl allgemein, als auch speziell bei Aufgaben mit Transfer-Niveau bzw. projektbezogenem Wissen (Spearman-Rho: r-Werte zwischen 0,119 u. 0,458, vgl. im Detail Anh. 60, 7.).

### 2.1.3 Resultate der klassifizierenden Analyse

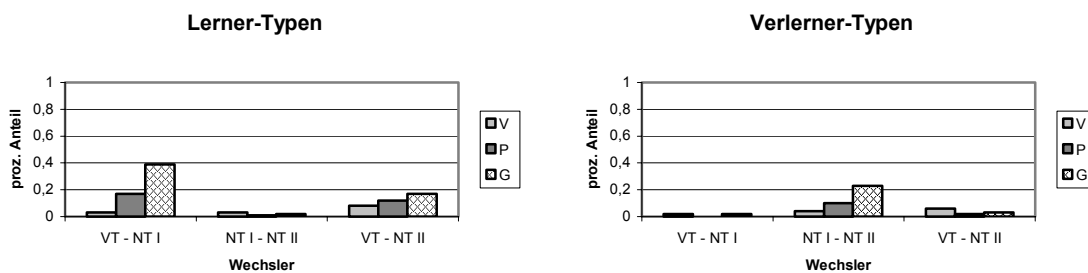
Im probabilistischen Testmodell der latenten Klassenanalyse ist Lernen als Wechsel in eine latente Klasse mit höherem Wissen definiert, also vom „Wenig-Köner“ zum „Vorwissen-“ oder „Viel-Köner“ bzw. vom „Vorwissen-“ zum „Viel-Köner“, entsprechend gegenläufig wird Verlernen festgelegt (vgl. Kap. V 5.1). Für den Erfolg der unterrichtlichen Intervention wurden nach Nerdel (2002, S. 55) die relativen Häufigkeiten für die beiden Probandengruppen berechnet (Abb. 39, vgl. Kap. V 5.1 und im Detail Anh. 60, 8.4).

**Probandengruppen**



**Abb. 39:** Anteile von Lernern und Verlernern beim Wechsel von Messzeitpunkt zu Messzeitpunkt (Lerner wechseln in eine bessere, Verlerner in eine schlechtere latente Klasse, die restlichen Schüler verbleiben in ihrer Klasse (Stagnierer), Details im Text)

Die qualitative Analyse bestätigt das Ergebnis der Auswertung nach der klassischen Testtheorie: Die Schüler erwerben durch die Intervention ein aktuelles Wissen, vergessen einen Teil ihres Wissens bis zum dritten Messzeitpunkt wieder und behalten einen anderen Bereich als persistentes Wissen. Eine ergänzende Differenzierung dieses Wissenserwerbs wird durch den Vergleich auf der inhaltlichen Ebene möglich, die drei unterschiedliche Lerner- bzw. Verlerner-Typen definiert (Abb. 40, vgl. im Detail Anh. 60, 8.1 – 4).



**Abb. 40:** Anteile der inhaltlich differenzierten Lerner -(Le) und Verlerner- (Ve) -Typen beim Wechsel von Messzeitpunkt zu Messzeitpunkt:

**V:** „Vorwissen-Le/-Ve“ wechseln von der Klasse der „Wenig-“ zu den „Vorwissen-Könnern“ u. v.v.;

**P:** „Projektwissen-Le/-Ve“ wechseln von den „Vorwissen-“ zu den „Viel-Könnern“ u. v.v.;

**G:** „Gesamt-Le/-Ve“ wechseln von den „Wenig-“ zu den „Viel-Könnern“ u. v.v.

Der Anteil der Schüler, die als „Vorwissen“-Typ ihr spezifisches Vorwissen aktualisieren, ist gering, und dieses Vorwissen wird langfristig gesehen am ehesten wieder vergessen. Als Lerner dominiert der „Gesamt“-Typ, der sowohl Vorwissen aktualisiert als auch das projektbezogene Wissen dazulernt, sein Anteil ist allerdings kurzfristig bei den Verlernern am höchsten. Die Probanden, die als „Projektwissen“-

Typ nur projektbezogenes Wissen erwerben, sind mit einem mittleren Anteil bei den Lernern und mit dem niedrigsten Anteil langfristig bei den Verlernern vertreten.

#### **2.1.4 Teilzusammenfassung**

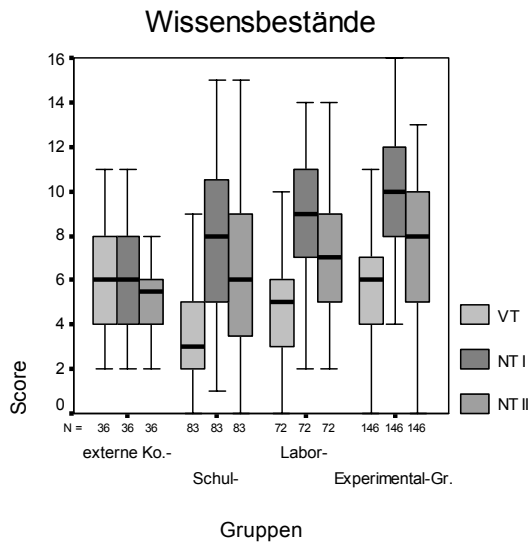
Im Folgenden sind die Ergebnisse zum Subtest Wissenserwerb in der Gesamtgruppe zusammengefasst:

- Das vorhandene Wissen der Schüler in der Gesamtgruppe wird vergrößert (Score NT I > VT), sie erwerben einen persistenten Wissensbestand (Score NT II > VT) und vergessen einen Teil der gelernten Inhalte wieder (Score NT II < NT I).
- Dies gilt speziell für die Items mit der höchsten Anforderungsstufe Transfer und für die inhaltlich als vorwissen- und projektbezogen differenzierten Items. Lediglich eine persistente Aktualisierung der Vorwissen-Items wird nicht erreicht.
- Sie erreichen somit einen aktuellen kognitiven Lernerfolg. Der persistente Lernerfolg ist signifikant niedriger.
- Die unabhängige Variable Geschlecht wirkt sich nicht beachtenswert aus. Im Hinblick auf die Variable Schulzweig (mat.-nat. vs. nicht mat.-nat.) erreichen die nicht-MNG-Schüler einen signifikant höheren Wissenszuwachs im Bereich der Vorwissen-Items.
- Speziell bei dauerhaften Lernleistungen bzw. Aufgaben mit Transfer-Niveau bestehen signifikante positive Zusammenhänge zur unterrichtlichen Experimentiererfahrung und den vorherigen schulischen Leistungen.
- Durch die latente Klassenanalyse werden die Schüler in Lerner, Stagnierer und Verlerner unterteilt. Diese lassen sich inhaltlich vorwissen- und projektbezogen, weiter differenzieren. Die Mehrzahl der Schüler aktualisiert Vorwissen und lernt das projektbezogene Wissen dazu.



## 2.2 Kognitive Veränderungen innerhalb der Untersuchungsgruppen

Wie in der Gesamtgruppe wurden die Wissensbestände der Untersuchungsgruppen im Vortest als vorhandenes, im Nachtest I als aktuelles und im Nachtest II als persistentes Wissen erfasst (Abb. 41).



**Abb. 41: Veränderung der Wissensbestände in den Untersuchungsgruppen über die drei Messzeitpunkte: vorhandenes (VT), aktuelles (NT I) u. persistentes (NT II) Wissen**

Die kognitiven Veränderungen bei den Unterrichtsgruppen (Schul-, nicht experimentelle Labor- und Experimental-Gr.) über die drei Messzeitpunkte hinweg sind im Gegensatz zu denen der externen Kontrollgruppe signifikant (Friedman-Tests: externer Ko.  $p = 0,509$ , Unterrichtsgruppen  $p < 0,001$ ; Wilcoxon-Tests: Unterrichtsgruppen  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 61,1.).

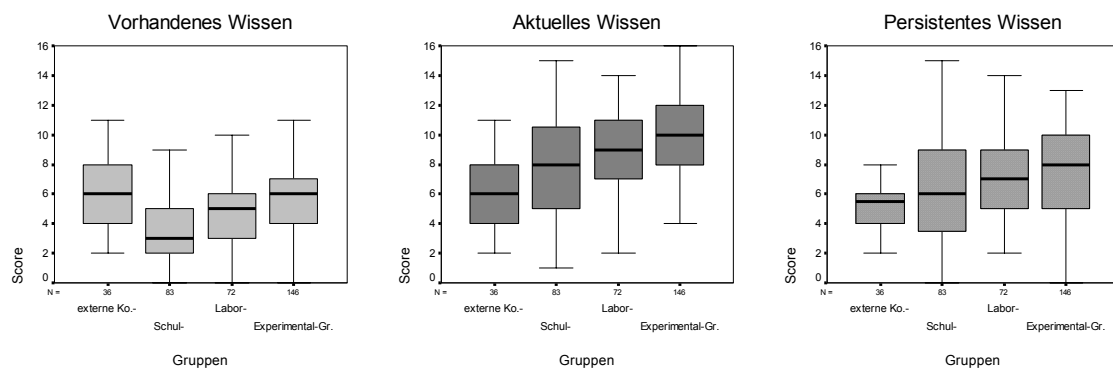
Somit lässt sich kein Pretest-Effekt feststellen; daher lassen sich auch Einflüsse durch die wiederholte Testdurchführung für das gesamte erfasste Wissen in den drei Interventionsgruppen ausschließen. Deren Schüler erreichen einen messbaren Wissenszuwachs vom Vor- zum Nachtest, behalten einen Teil ihres Wissens über die Intervention hinaus und vergessen einen anderen Anteil ihres aktuellen Wissens wieder (vgl. im Detail Anh. 61, 1.2).

Im Folgenden werden die vier Untersuchungsgruppen detailliert analysiert.

## 2.3 Vergleich der Untersuchungsgruppen

### 2.3.1 Das Wissen zu den verschiedenen Testzeitpunkten

Der Vergleich der Wissensbestände zwischen den vier Untersuchungsgruppen zu den drei Testzeitpunkten (Abb. 42) ergibt signifikante Unterschiede für Scores im vorhandenen, im aktuellen und im persistenten Wissen (Kruskal-Wallis-Tests:  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 61, 1.2).



**Abb. 42: Vergleich der drei Wissensbestände, vorhandenes Wissen (VT), aktuelles Wissen (NT I) und persistentes Wissen (NT II) zwischen den Untersuchungsgruppen: signifikante Unterschiede über alle Gruppen zu jedem Messzeitpunkt (Details im Text)**

Aufgrund der Differenzen im vorhandenen Wissen zum ersten Messzeitpunkt (Abb. 42 li.) können die Wissens-Scores der beiden Nachtests (Abb. 42 Mi. u. re.) nicht direkt miteinander verglichen werden, sondern es muss auf die berechneten Differenz- und Lernerfolgsgrößen zurückgegriffen werden (vgl. Kap. V 5.1).

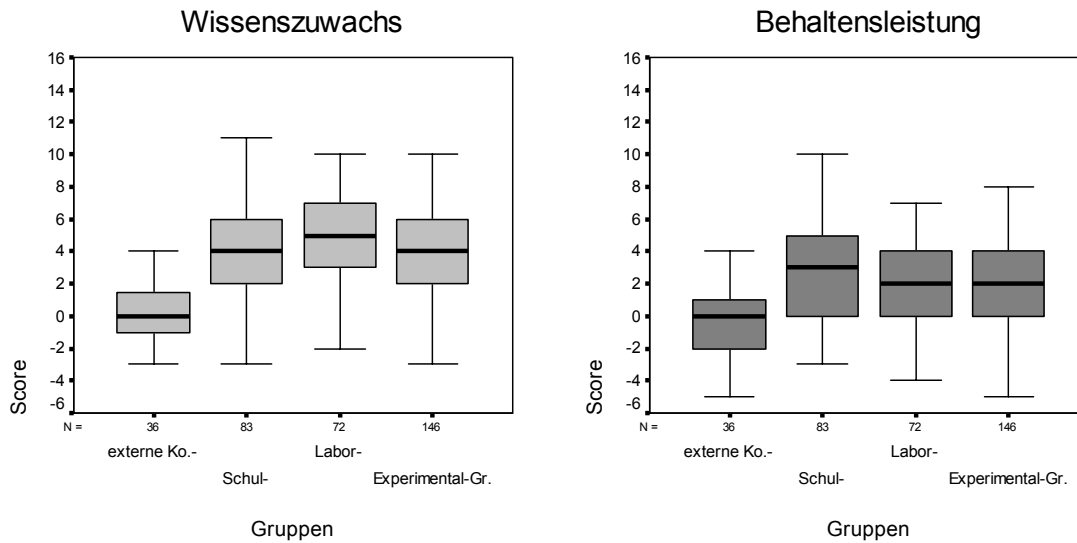
### 2.3.2 Differenz- und Lernerfolgsgrößen

#### 2.3.2.1 Differenzgrößen

Folgende Differenzen zwischen den einzelnen Wissens-Scores wurden berechnet (vgl. Kap. V 5.1): Wissenszuwachs (Nachtest I – Vortest, Abb. 43 li.), Behaltensleistung (Nachtest II – Vortest, Abb. 44 re.) und Vergessensmaß (Nachtest I - Nachtest II, Abb. 44). Für alle drei Größen sind die Unterschiede über alle Untersuchungsgruppen signifikant (Kruskal-Wallis-Tests:  $p < 0,001$ , vgl. Anh. 61, 1.3.1).

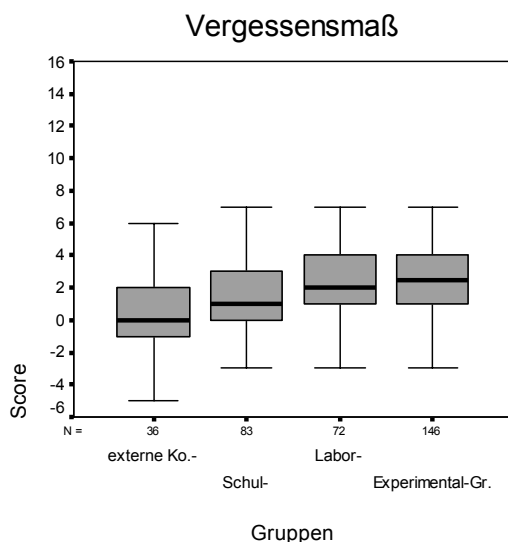
Die paarweise Analyse zeigt, dass sich die Unterrichtsgruppen im Wissenszuwachs und der Behaltensleistung gegenüber der externen Kontrolle, nicht aber untereinander signifikant unterscheiden (Mann-Whitney-Tests: externe

Kontrollgruppe vs. Unterrichtsgruppen  $p < 0,001$ , Unterrichtsgruppen untereinander  $p$ -Werte zwischen 0,189 u. 0,613, vgl. im Detail Anh. 61, 1.3.2).



**Abb. 43: Vergleich der Untersuchungsgruppen im Hinblick auf die Differenzgrößen Wissenszuwachs (NT I – VT) und Behaltensleistung (NT II – VT): signifikante Unterschiede ausschließlich zwischen der externen Kontrollgruppe und den drei Unterrichtsgruppen (Details im Text)**

Aufgrund des fehlenden Wissenszuwachses ist das Vergessenmaß (Abb. 44) in der externen Kontrollgruppe sehr gering (Mann-Whitney-Tests: vs. Schul-.  $p = 0,061$ , vs. Labor-.  $p = 0,001$ , vs. Experimental-Gr.  $< 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 61, 1.3.2).

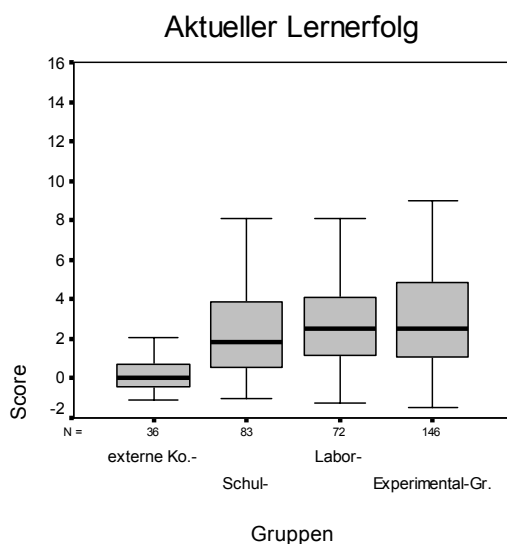


**Abb. 44: Vergleich der Untersuchungsgruppen im Hinblick auf die Differenzgröße Vergessensmaß (NT I – NT II): signifikante Unterschiede zum einen zwischen der externen Kontrollgruppe und den Unterrichtsgruppen im Labor, zum anderen zwischen der Schul- und der Experimentalgruppe (Details im Text)**

In den drei Unterrichtsgruppen vergessen die Schüler der Experimental-Gruppe signifikant mehr als die Probanden im Lernort Schule. Das ebenfalls erhöhte Vergessensmaß der Schüler in der nicht experimentellen Labor-Gruppe im Vergleich zur Schul-Gruppe ist wie der dritte Unterschied (nicht experimentelle Labor- vs. Experimental-Gruppe) nicht signifikant. Daher wirken sich der Lernort allein (Vergleich Schul- u. nicht experimentelle Labor-Gruppe) bzw. das selbsttätige Experimentieren am gleichen Lernort (Vergleich nicht experimentelle Labor- u. Experimental-Gruppe) nicht auf das Vergessensmaß aus (Mann-Whitney-Tests: Schul- vs. Labor-  $p = 0,079$ , Schul- vs. Experimental-  $p = 0,008$ , Labor- vs. Experimental-Gr.  $p = 0,489$ , vgl. im Detail Anh. 61, 1.3.2).

### 2.3.2.2 Kognitiver Lernerfolg

Da die Differenzgrößen die tatsächliche Höhe des erreichten Wissens nicht berücksichtigen, wurden für dessen Bewertung die Größen aktueller (Abb. 45) und persistenter Lernerfolg (Abb. 46) berechnet (vgl. Kap. V 5.1), die sich über alle Gruppen signifikant unterscheiden (Kruskal-Wallis-Tests:  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 61, 2.1).

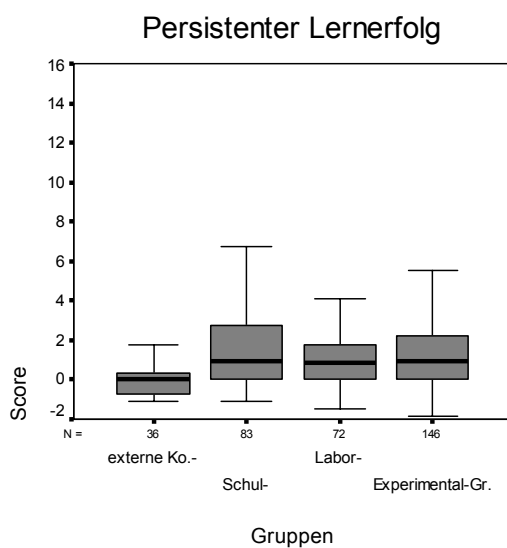


**Abb. 45: Vergleich der Untersuchungsgruppen im Hinblick auf den aktuellen Lernerfolg: signifikante Unterschiede zum einen zwischen der externen Kontrollgruppe und den Unterrichtsgruppen, zum anderen zwischen der Schul- und der Experimentalgruppe (Details im Text)**

Die externe Kontroll-Gruppe erreicht im Gegensatz zu den Unterrichtsgruppen keinen aktuellen Lernerfolg (Mann-Whitney-Tests: vs. Unterrichtsgruppen  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 61, 2.2). Der Lernerfolg in der Experimental-Gruppe ist signifikant

höher als bei den Probanden der Schul-Gruppe, während der Lernort allein (Vergleich nicht experimentelle Labor- u. Schul-Gruppe) bzw. das selbsttätige Experimentieren am gleichen Lernort (Vergleich nicht experimentelle Labor- u. Experimental-Gruppe) keine statistisch bedeutsamen Unterschiede ergibt (Mann-Whitney-Tests: Schul- vs. Experimental-  $p = 0,045$ , Schul- vs. Labor-  $p = 0,134$ , Labor- vs. Experimental-Gr.  $p = 0,730$ , vgl. im Detail Anh. 61, 2.2).

Der größere Lernerfolg der Experimental- im Vergleich zur Schul-Gruppe ist jedoch nicht persistent (Abb. 46), da die drei Unterrichtsgruppen sich zum dritten Messzeitpunkt im persistenten Lernerfolg nicht mehr signifikant unterscheiden (Mann-Whitney-Tests:  $p$ -Werte zwischen 0,581 u. 0,775, vgl. Anh. 61, 2.2). Die Unterschiede zur externen Kontroll-Gruppe, die keinen persistenten Lernerfolg aufweist, bleiben signifikant erhalten (Mann-Whitney-Tests: vs. Unterrichtsgruppen  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 61, 2.2).



**Abb. 46: Vergleich der Untersuchungsgruppen im Hinblick auf den persistenten Lernerfolg: signifikante Unterschiede zwischen der externen Kontrollgruppe und den Unterrichtsgruppen (Details im Text)**

Zusammengefasste Ergebnisse für den gesamten Subtest Wissenserwerb:

- In Bezug auf die Differenzgrößen Wissenszuwachs und Behaltensleistung lassen sich zwischen den Unterrichtsgruppen keine signifikanten Unterschiede feststellen.

- Der Lernerfolg in der Experimental-Gruppe ist signifikant höher als bei den Probanden der Schul-Gruppe; der ebenfalls erhöhte Lernerfolg der nicht experimentellen Labor-Gruppe bedingt keinen statistisch bedeutsamen Unterschied zur Schul-Gruppe.
- Die Schüler der Experimental-Gruppe vergessen signifikant mehr als die Probanden im Lernort Schule; das ebenfalls erhöhte Vergessensmaß der nicht experimentellen Labor-Gruppe gegenüber der Schul-Gruppe ist nicht statistisch bedeutsam.
- Im persistenten Lernerfolg unterscheiden sich die Unterrichtsgruppen nicht signifikant.
- Die unabhängige Variable selbsttätiges Experimentieren bewirkt am gleichen Lernort (Vergleich der nicht experimentellen Labor-Gruppe mit der Experimental-Gruppe) keine signifikanten Effekte.

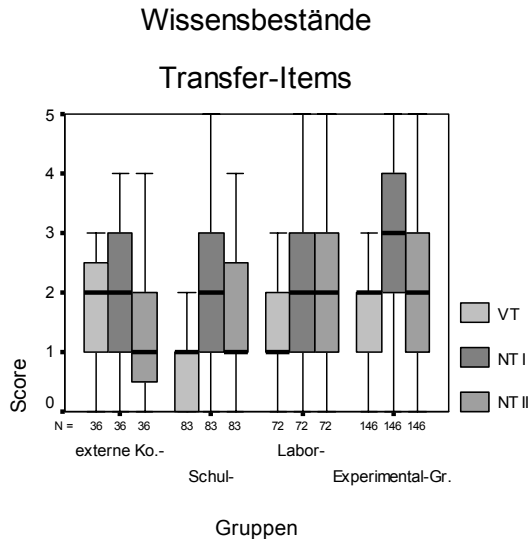
### **2.3.3 Itemtypenbezogene Effekte**

Eine genauere Analyse des Wissenserwerbs innerhalb der einzelnen Untersuchungsgruppen ermöglichen die beiden Differenzierungsebenen der Items, die verschiedenen Anforderungsniveaus und die unterschiedlichen inhaltlichen Bezüge (vgl. Kap. V 4.3.1 und Tab. 22).

#### **2.3.3.1 Items mit der Anforderungsstufe Transfer**

Zunächst werden die fünf Items mit der Anforderungsstufe Transfer betrachtet (Abb. 47), die das höchste Anforderungsniveau darstellen (vgl. Kap. V 4.3.1 u. Tab. 22).

Die feststellbaren Veränderungen über die drei Messzeitpunkte hinweg sind in den Unterrichtsgruppen im Gegensatz zur externen Kontrolle signifikant (Friedman-Tests: externe Kontroll-Gruppe  $p = 0,067$ , Schul- u. Experimental-Gr.  $p < 0,001$ , Labor-Gr.  $p = 0,002$ , vgl. im Detail Anh. 61, 3.1). Aufgrund der fehlenden Veränderung in der externen Kontrollgruppe liegt auch für diesen Teilbereich des Wissenserwerbs kein Effekt durch das wiederholte Durchführen des Tests vor.

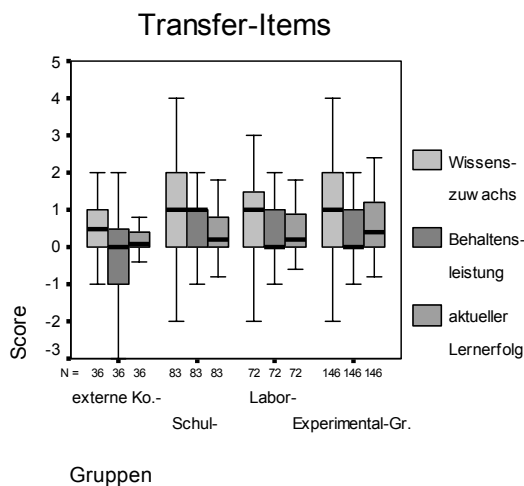


**Abb. 47: Vergleich der Untersuchungsgruppen in Bezug auf die Wissensbestände zu den fünf Items mit der Anforderungsstufe Transfer zu den drei Messzeitpunkten (Details im Text)**

Die Schüler aller Unterrichtsgruppen lernen in der Itemgruppe Transfer dazu (Vergleich VT/NT I) und erreichen persistentes Wissen (Vergleich VT/NT II; Wilcoxon-Tests: p-Werte zwischen  $< 0,001$  u.  $0,016$ , vgl. im Detail Anh. 61, 3.2). Allerdings vergessen nur die Schüler im Lernort Labor (nicht experimentelle Labor- und Experimental-Gruppe) signifikant einen Teil ihres Wissens wieder, bei den Probanden im Lernort Schule ist der Rückgang nicht statistisch bedeutsam (Vergleich NT I/NT II; Wilcoxon-Tests: Schul-  $p = 0,356$ , Labor-  $p = 0,035$ , Experimental-Gr.  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 61, 3.2). Dies könnte auf die geringe Höhe des persistenten Wissens in der Schul-Gruppe zurückzuführen sein.

Da die Unterschiede im Vortest über alle Gruppen signifikant sind (Kruskal-Wallis-Test:  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 61, 3.3), lassen sich die einzelnen Gruppen wie bei der Analyse des gesamten Testes nur auf der Ebene der Differenzgrößen und des Lernerfolgs vergleichen. Signifikante Unterschiede bei den Transfer-Items (Abb. 48) ergeben sich gruppenbezogen beim Wissenszuwachs, bei der Behaltensleistung und beim aktuellen Lernerfolg, nicht beim Vergessensmaß und beim persistenten Lernerfolg (Kruskal-Wallis-Tests: Wissenszuwachs  $p = 0,049$ , Behaltensleistung  $p = 0,031$ , Vergessensmaß  $p = 0,394$ , aktueller Lernerfolg  $p = 0,049$ , persistenter Lernerfolg  $p = 0,092$ , vgl. im Detail Anh. 61, 3.4.1 u. 3.5.1).

## Differenzgrößen u. aktueller Lernerfolg



**Abb. 48:** Vergleich der Untersuchungsgruppen im Hinblick auf die Differenzgrößen Wissenszuwachs (Score NT I – VT) und Behaltensleistung (Score NT II – VT) sowie den aktuellen Lernerfolg in Bezug auf die Items mit der Anforderungsstufe Transfer: signifikante Unterschiede nur zwischen der externen Kontroll-Gr. und einzelnen Unterrichtsgruppen (Details im Text)

Die paarweise Analyse zeigt jedoch, dass sich die Unterrichtsgruppen untereinander nicht signifikant unterscheiden, allein die Differenzen in Bezug auf die externe Kontroll-Gruppe sind im Einzelfall signifikant (Mann-Whitney-Tests: externe Kontroll-Gr. vs. Unterrichtsgruppen p-Werte zwischen  $< 0,001$  u.  $0,311$ , Unterrichtsgruppen untereinander p-Werte zwischen  $0,124$  u.  $0,912$ , vgl. im Detail Anh. 61, 3.4.2 u. 3.5.2).

Zusammengefasste Ergebnisse für die Transfer-Items:

- Die unabhängige Variable Lernort bedingt, dass die Schüler in der Schule im Gegensatz zu den Lernern im Labor (nicht experimentell und experimentell) sich ihr erworbenes Wissen erhalten, allerdings auf niedrigem Niveau. Nur die Schüler der beiden Gruppen im Lernort Labor vergessen einen Teil ihres Wissens wieder.
- Signifikante Unterschiede in den Differenz- und Lernerfolgsgrößen zwischen den Unterrichtsgruppen lassen sich nicht feststellen.

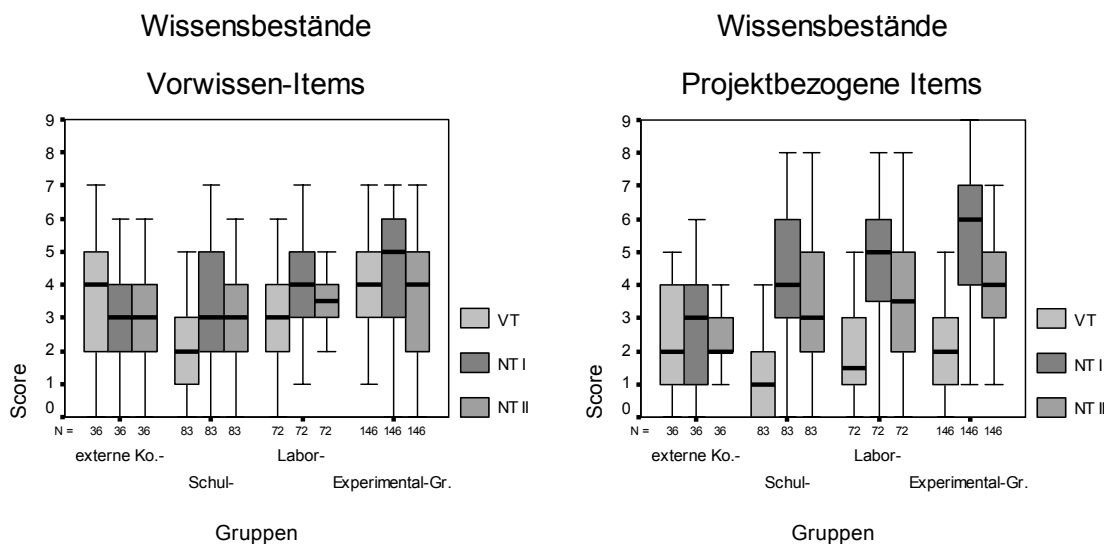
### 2.3.3.2 Inhaltlich differenzierte Itemgruppen

Durch die latente Klassenanalyse ließen sich die 16 Items des Subtests Wissenserwerb in sieben vorwissen- und neun projektbezogene Items differenzieren (vgl. Kap. V 4.3.2.2). Die Analyse der Gesamtgruppe zeigte auf, dass die Schüler in beiden Teilbereichen lernten und einen Teil ihres Wissens wieder vergaßen, aber nur



bei den projektbezogenen Items ein persistentes Wissen erreichten (vgl. Kap. VI 2.1). Weil die Schüler im Bereich der Vorwissen-Items durch den Unterricht kein dauerhaftes Wissen erwarben, erübrigt sich für diese Itemgruppe die Berechnung der Größen Behaltensleistung und persistenter Lernerfolg.

Die Analyse in Bezug auf die einzelnen Untersuchungsgruppen (Abb. 49) zeigt zunächst, dass in der externen Kontrolle die feststellbaren Veränderungen für beide Itemgruppen über die drei Messzeitpunkte hinweg statistisch nicht bedeutsam sind (Friedman-Tests: externe Kontroll-Gruppe  $p = 0,215$  bzw.  $p = 0,224$ , vgl. im Detail Anh. 61, 4.1). Damit liegt für die inhaltlich differenzierten Teilbereiche ebenfalls kein Effekt durch das wiederholte Durchführen des Tests vor. Dies gilt insbesondere für die Aktualisierung des Vorwissens, die bei der externen Kontroll-Gruppe am wahrscheinlichsten zu erwarten wäre.



**Abb. 49: Vergleich der Untersuchungsgruppen in Bezug auf die Wissensbestände zu den beiden inhaltlich differenzierten Itemgruppen zu den drei Messzeitpunkten (sieben Items mit Vorwissen- u. neun Items mit Projektbezug, weitere Details im Text)**

Die zeitlichen Veränderungen für die Vorwissen-Items im Lernort Schule sind im Gegensatz zu den Unterrichtsgruppen im Lernort Labor (nicht experimentell und experimentell) ebenfalls nicht signifikant (Friedman-Tests: Schul-  $p = 0,051$ , Labor- u. Experimental-Gr.  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 61, 4.1). Nur in den beiden Gruppen im Lernort Labor wird damit durch die einmalige Unterrichtsintervention erreicht, - unabhängig ob die Experimente durchgeführt wurden oder nicht - dass die Schüler Vorwissen aktualisieren (Vergleich VT/NT I), allerdings auch einen Teil dieses

Wissens wieder vergessen (Vergleich NT I/NT II; Wilcoxon-Tests: p-Werte zwischen  $< 0,001$  u.  $0,005$ , vgl. im Detail Anh. 61, 4.2).

Da die Unterschiede im Vortest über alle Gruppen signifikant sind (Kruskal-Wallis-Test:  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 61, 4.3), lassen sich die einzelnen Gruppen auch im Hinblick auf die inhaltliche Differenzierung nur auf der Ebene der Differenzgrößen und des Lernerfolgs vergleichen. Dabei ist die Analyse für die Vorwissen-Items aufgrund der fehlenden persistenten Aktualisierung (vgl. oben) auf den Wissenszuwachs, das Vergessensmaß und den aktuellen Lernerfolg beschränkt.

In Bezug auf diese Itemgruppe unterscheiden sich alle Gruppen im Gegensatz zum Vergessensmaß zwar im Wissenszuwachs signifikant (Kruskal-Wallis-Tests: Wissenszuwachs  $p = 0,001$ , Vergessensmaß  $p = 0,270$ , vgl. im Detail Anh. 61, 4.4.1), der Unterschied beruht allerdings nur auf dem fehlenden Wissenszuwachs in der externen Kontroll-Gruppe. Die Unterrichtsgruppen zeigen keine statistisch bedeutsamen Unterschiede (Mann-Whitney-Tests: externe Kontroll-Gr. vs. Unterrichtsgruppen p-Werte zwischen  $< 0,001$  u.  $0,012$ , Unterrichtsgruppen untereinander p-Werte zwischen  $0,055$  u.  $0,592$ , vgl. im Detail Anh. 61, 4.4.2). Der aktuelle Lernerfolg ist in Bezug auf alle Untersuchungsgruppen signifikant unterschiedlich (Kruskal-Wallis-Test:  $p = 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 61, 4.5.1). Neben den signifikanten Differenzen der Unterrichtsgruppen zur externen Kontroll-Gruppe findet sich auch ein signifikant niedrigerer Lernerfolg in der Schul-Gruppe im Vergleich zur nicht experimentellen Labor-Gruppe. Die weiteren Unterschiede sind statistisch nicht bedeutsam (Mann-Whitney-Tests: externe Kontroll- vs. Unterrichtsgruppen p-Werte zwischen  $< 0,001$  u.  $0,007$ , Schul- vs. Labor-  $p = 0,029$ , Schul- vs. Experimental-  $p = 0,489$  u. Labor- vs. Experimental-Gr.  $p = 0,144$ , vgl. im Detail Anh. 61, 4.5.2). Dies verdeutlicht die fehlende Wirkung der Intervention über die drei Messzeitpunkte für die Vorwissen-Items im Lernort Schule (vgl. oben).

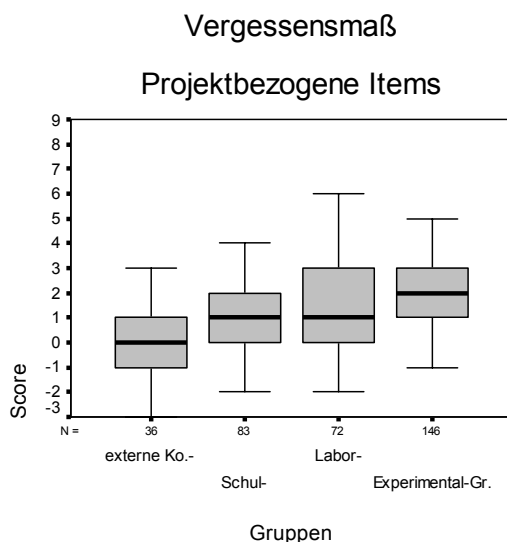
Die zeitlichen Veränderungen für die projektbezogenen Items sind für alle Unterrichtsgruppen signifikant (Friedman-Tests:  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 61, 4.1). Die Schüler lernen in diesem inhaltlichen Bereich (Vergleich VT/NT I), sie erwerben dabei persistentes Wissen (Vergleich VT/NT II) und vergessen einen Teil dieses Wissens wieder (Vergleich NT I/NT II; Wilcoxon-Tests:  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 61, 4.2).

Da die Unterschiede im Vortest in den Untersuchungsgruppen signifikant sind (Kruskal-Wallis-Test:  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 61, 4.3), lassen sich die einzelnen Gruppen auch im Hinblick auf diesen inhaltlichen Bereich nur auf der Ebene der Differenzgrößen und des Lernerfolgs vergleichen.

Dabei finden sich signifikante Unterschiede über die Gruppen hinweg für alle fünf Größen: Wissenszuwachs, Behaltensleistung, Vergessensmaß, aktueller und persistenter Lernerfolg (Kruskal-Wallis-Tests:  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 61, 4.4.1 u. 4.5.1).

Mit Ausnahme des Vergessensmaßes beruhen sie nur auf dem fehlenden Lernen in der externen Kontroll-Gruppe. Die Unterrichtsgruppen untereinander zeigen keine statistisch bedeutsamen Unterschiede (Mann-Whitney-Tests: externe Kontroll-Gr. vs. Unterrichtsgruppen  $p < 0,001$ , Unterrichtsgruppen untereinander p-Werte zwischen 0,115 u. 0,951, vgl. im Detail Anh. 61, 4.4.2 u. 4.5.2).

Entsprechend der Analyse des Gesamttests (vgl. Kap. VI 2.3.1) vergessen die Schüler der Experimental-Gruppe auch bei der Teilgruppe der projektbezogenen Items signifikant mehr als die Schüler im Lernort Schule (Abb. 50).



**Abb. 50: Vergleich der Untersuchungsgruppen in Bezug auf das Vergessensmaß (Score NT I – NT II) zu den neun Items mit Projektbezug: signifikante Unterschiede zwischen der externen Kontroll-Gruppe und den Unterrichtsgruppen sowie zwischen der Schul- und Experimental-Gruppe (weitere Details im Text)**

Die Unterschiede zur nichtexperimentellen Labor-Gruppe sind statistisch nicht bedeutsam. Alle Unterrichtsgruppen zeigen einen signifikanten Unterschied zur externen Kontroll-Gruppe (Mann-Whitney-Tests: externe Kontroll-Gr. vs.

Unterrichtsgruppen  $p < 0,001$  u.  $0,002$ , Schul- vs. Experimental-  $p = 0,029$ , vs. Labor-  $p = 0,415$ , Labor- vs. Experimental-Gr.  $0,250$ , vgl. im Detail Anh. 61, 4.4.2 u. 4.5.2).

Zusammengefasste Ergebnisse für die beiden inhaltlich differenzierten Bereiche der Vorwissen-Items und der projektbezogenen Items:

- Die Aktualisierung von vorhandenem Vorwissen wird im Gegensatz zum Lernort Schule nur im Lernort Labor erreicht und zwar in beiden Gruppen, der nicht experimentellen Labor- und der Experimental-Gruppe.
- Im diesem Teilbereich des Wissens zeigt die Schul-Gruppe einen signifikant niedrigeren aktuellen Lernerfolg als die nicht experimentelle Labor-Gruppe; der Unterschied der Schul- zur Experimental-Gruppe ist nicht statistisch bedeutsam.
- Im projektbezogenen Teilbereich des Wissens vergessen die Schüler der Experimental-Gruppe signifikant mehr als die Probanden im Lernort Schule, weitere Einflüsse der unabhängigen Variablen Lernort bzw. selbsttätiges Experimentieren lassen sich auf dieser Ebene nicht nachweisen.

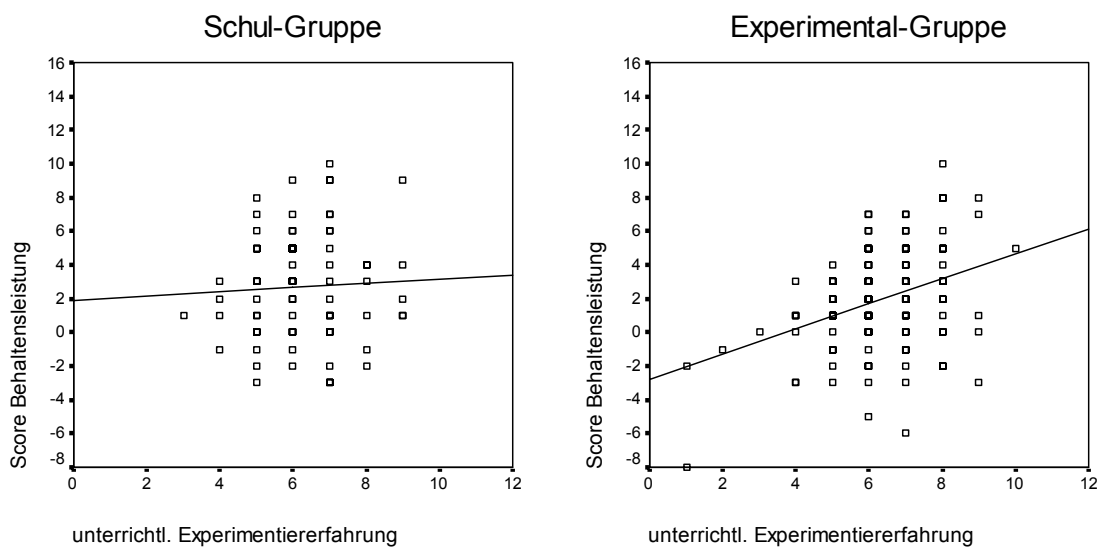
### **2.3.4 Beziehungen zu anderen Variablen**

Die Analyse der Gesamtgruppe zeigte, dass ein signifikanter Einfluss der unabhängigen Variable Schulzweig im Bereich der Aktualisierung des Vorwissens vorliegt: Die Schüler des MNG-Zweiges erreichten einen signifikant niedrigeren Wissenszuwachs (vgl. Abb. 37, Kap. VI 2.1.2). Die entsprechende Analyse auf der Ebene der einzelnen Untersuchungsgruppen weist allerdings nach, dass dieser Effekt statistisch bedeutsam nur bei der nicht experimentellen Labor-Gruppe auftritt (Mann-Whitney-Tests: Labor-Gr.  $p = 0,015$ , andere Untersuchungsgruppen  $p$ -Werte zwischen  $0,249$  u.  $0,775$ , vgl. im Detail Anh. 61, 5.). Damit erscheint es akzeptabel, diesen Effekt im Folgenden nicht weiter zu berücksichtigen.

Bei den dauerhaften Lernleistungen bzw. den Aufgaben mit Transfer-Niveau zeigten sich in der Gesamtgruppe signifikante positive Zusammenhänge zur unterrichtlichen Experimentiererfahrung über Demonstrationsexperimente und zu den vorherigen schulischen Leistungen.

Für die Variable Experimentiererfahrung - die Untersuchungsgruppen unterscheiden sich im Hinblick auf diese Variable nicht signifikant (Kruskal-Wallis-Test:  $p = 0,225$ , vgl. im Detail Anh. 56, 6.) - beruhen die positiven Zusammenhänge in der

Gesamtgruppe auf der Ebene der Unterrichtsgruppen nur auf signifikanten Korrelationen bei der Experimental-Gruppe (z.B. Abb. 51, Spearman-Rho: Experimental-Gr. r-Werte zwischen 0,224 u. 0,306, Schul- u. Labor-Gr. nicht signifikante r-Werte < 0,199, vgl. im Detail Anh. 61, 6). Nur die selbsttätig experimentierenden Schüler werden durch die Erfahrung mit demonstrierten Experimenten aus dem früheren Unterricht im Hinblick auf dauerhafte Lernleistungen (Abb. 51 re.) und die Leistungen mit der Anforderungsstufe Transfer gefördert (vgl. Anh. 61, 6).



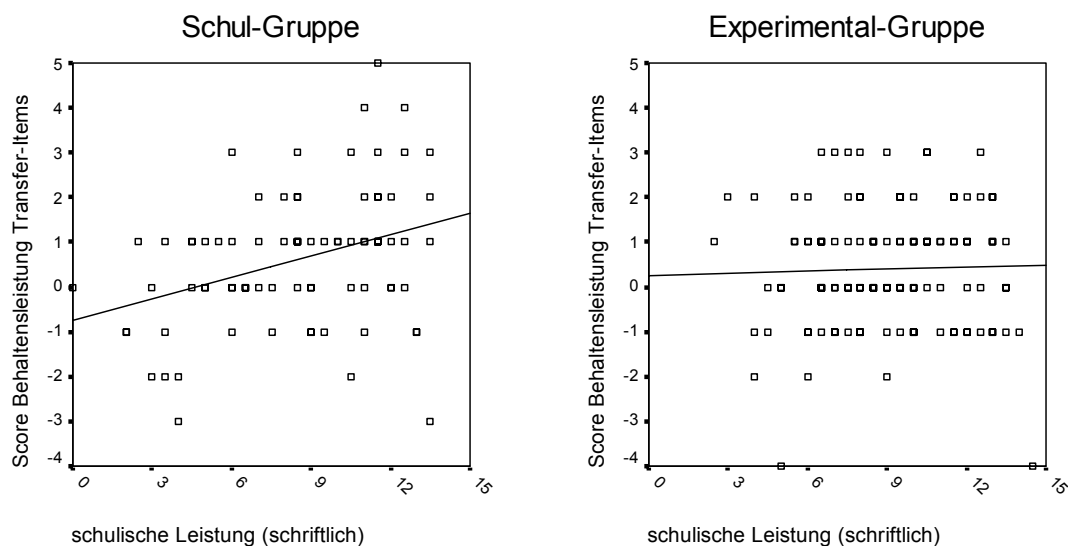
**Abb. 51: Beispielhafte Vergleiche zu Korrelationen zwischen der unterrichtlichen Experimentiererefahrung über Demonstrationsexperimente (Summe der Einschätzungen für den Unterricht in Biologie, Chemie u. Physik, fachbezogene Skalierung: 0 nie, 1 selten, 2 gelegentlich, 3 oft, 4 immer) und dauerhaften Lernleistungen: Behaltensleistung (Score NT II – VT) in der Schul- und Experimental-Gruppe (Spearman-Rho: Schul-Gr.  $r = 0,015$ ; Experimental-Gr.  $r = 0,289$ ).**

Ein differenzierteres Ergebnis liefert die Analyse der Unterrichtsgruppen in Bezug auf die in der Gesamtgruppe festgestellten Zusammenhänge zwischen den schulischen Leistungen und den gemessenen Lernleistungen, dabei unterscheiden sich die drei Gruppen in Bezug auf die schriftlichen Leistungen im Leistungskurs Biologie nicht signifikant (Kruskal-Wallis-Test:  $p = 0,652$ , vgl. im Detail Anh. 61, 7.3.):

- Nur im Lernort Schule gibt es signifikante positive Korrelationen mit den Lernleistungen der Anforderungsstufe Transfer (Abb. 52, Spearman-Rho: Schul-Gr. r-Werte zwischen 0,249 u. 0,367, nicht signifikante r-Werte < 0,127).
- Nur im Lernort Schule und teilweise im Lernort Labor mit selbsttätigem Experimentieren (Experimental-Gruppe) gibt es signifikante positive Zusammenhänge mit aktuellen und dauerhaften Lernleistungen, sowohl

allgemein als auch mit projektbezogenem Wissen (Spearman-Rho: Schul- u. Experimental-Gr. r-Werte zwischen 0,200 u. 0,444, nicht signifikante r-Werte < 0,185).

- Im Lernort Labor ohne eigenes Experimentieren (nicht experimentelle Labor-Gruppe) existieren keine signifikanten Korrelationen zwischen allen Lernleistungen und den vorherigen schulischen Leistungen (vgl. insgesamt im Detail Anh. 61, 7.2).



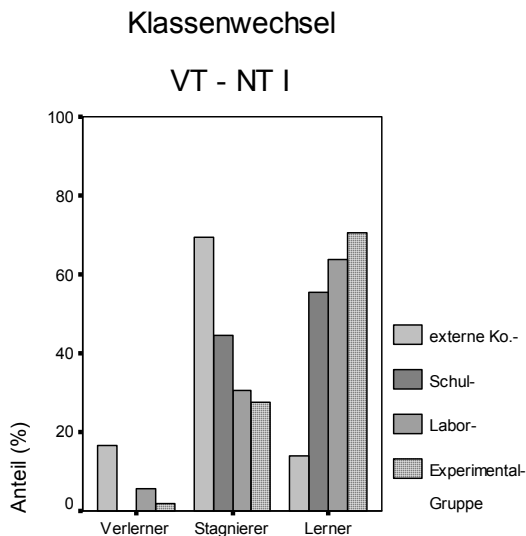
**Abb. 52: Beispielhafte Vergleiche zu Korrelationen zwischen den vorherigen schulischen Leistungen (Punktesystem 0 bis 15) und Lernleistungen mit der Anforderungsstufe Transfer: Behaltensleistung Transfer-Items (Score NT II – VT) in der Schul- und Experimental-Gruppe (Spearman-Rho: Schul-Gr.  $r = 0,340$ ; Experimental-Gr.  $r = 0,050$ ).**

Zusammenfassend lässt damit feststellen, dass schwächere Schüler im Lernort Labor, speziell bei höher zu bewertenden Aufgaben, eine relativ gesehen bessere Leistung erbringen, allerdings u.U. sehr gute Schüler schlechter abschneiden, als es ihre schulischen Leistungen vermuten lassen.

### 2.3.5 Resultate der klassifizierenden Analyse

Im probabilistischen Testmodell der latenten Klassenanalyse ist Lernen als Wechsel in eine latente Klasse mit höherem Wissen definiert, also vom „Wenig-Köner“ zum „Vorwissen-“ oder „Viel-Köner“ bzw. vom „Vorwissen-“ zum „Viel-Köner“ (vgl. Kap. V 5.1); entsprechend gegenläufig ist Verlernen festgelegt. Stagnierer verbleiben von einem Messzeitpunkt zum nächsten in ihrer Klasse. Vergleichbar mit der Gesamtgruppe (vgl. Kap. VI 2.1.3) wurden für die einzelnen Untersuchungsgruppen die Häufigkeiten der drei Probandengruppen bestimmt (vgl. Kap. V 5.1 und im Detail

Anh. 61, 8.1 - 4). Die beobachtete Verteilung der Wechsler weicht beim Wechsel vom Vortest zum Nachtest I signifikant von der zu erwartenden Verteilung ab (Abb. 53, exakter Fisher-Test:  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 61, 8.5).



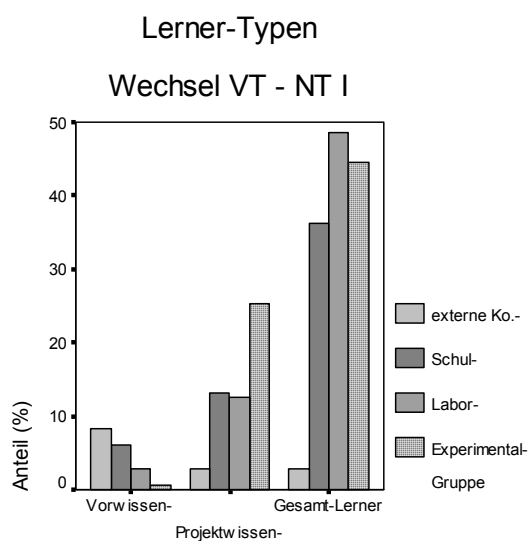
**Abb. 53: Verteilung der Typen von Klassenwechsler vom Vortest zum Nachtest I (Lerner wechseln in eine bessere, Verlerner in eine schlechtere latente Klasse, die Stagnierer verbleiben in ihrer Klasse, Details im Text)**

Der paarweise Vergleich der Untersuchungsgruppen weist zunächst signifikante Abweichungen zwischen der externen Kontroll-Gruppe und den Unterrichtsgruppen nach. Die Mehrzahl dieser Schüler stagniert, fünf Probanden (von insgesamt 36) lassen sich jedoch allein durch den Test zum Lernen anregen. Innerhalb der Unterrichtsgruppen weicht die beobachtete Verteilung der Wechsler zwischen der Schul- und den beiden Labor-Gruppen (nicht experimentell und experimentell) signifikant von der erwarteten Verteilung ab. Im Lernort Labor sind weniger Stagnierer und gleichzeitig mehr Lerner als im Lernort Schule vorhanden. Der Unterschied zwischen der nicht experimentelle Labor-Gruppe und der Experimental-Gruppe ist statistisch nicht bedeutsam (exakte Fisher-Tests: externe Kontroll-Gr. vs. Unterrichtsgruppen  $p < 0,001$ , Schul- vs. Labor- bzw. Experimental-Gr.  $p$ -Werte 0,022 bzw. 0,013, Labor- vs. Experimental-Gr.  $p = 0,290$ , vgl. im Detail Anh. 61, 8.6.1).

Die Verteilung der Wechsler vom ersten bzw. zweiten zum dritten Messzeitpunkt (VT/NT II bzw. NT I/NT II) zeigen zwischen den Unterrichtsgruppen keine signifikanten Abweichungen von der Erwartung (exakte Fisher-Tests: NT I/NT II  $p = 0,562$ , VT/NT II  $p < 0,001$ , Unterrichtsgruppen untereinander  $p$ -Werte zwischen 0,079

u. 0,578, vgl. im Detail Anh. 61, 8.5 u. 8.6.2). Damit sind die qualitativ festgestellten Lernvorgänge nicht persistent. Andererseits zeigt sich auf dieser Ebene der Analyse kein höherer Anteil an Verlernern vom Nachtest I zum Nachtest II. Das bei der quantitativen Auswertung festgestellte höhere Vergessensmaß der Experimentalschüler (vgl. Kap. VI 2.3.2.1) wirkt sich nicht aus, da bspw. ein Vergessen von zwei Items vom zweiten zum dritten Messzeitpunkt (Median der Experimental-Gruppe, vgl. Abb. 44) nicht mit einem Klassenwechsel gekoppelt sein muss.

Eine weitergehende Differenzierung ist auf der inhaltlichen Ebene möglich. Dazu wurden wie in der Gesamtgruppe für den Wechsel vom Vor- zum Nachtest I die Häufigkeiten der drei Lerner-Typen „Vorwissen-Lerner“ (Wechsel von der Klasse der „Wenig-“ zu den „Vorwissen-Könnern“), „Projektwissen-Lerner“ (Wechsel von den „Vorwissen-“ zu den „Viel-Könnern“) und „Gesamtlerner“ (Vor- und Projektwissen-Lerner: Wechsel von den „Wenig-“ zu den „Viel-Könnern“) bestimmt (vgl. Kap. VI 2.1.3 u. Abb. 54).



**Abb.54: Verteilung der Lerner-Typen in den Untersuchungsgruppen beim Wechsel vom Vortest zum Nachtest I („Vorwissen-Lerner“: Wechsel von der Klasse der „Wenig-“ zu den „Vorwissen-Könnern“, „Projektwissen-Lerner“: Wechsel von den „Vorwissen-“ zu den „Viel-Könnern“ und „Gesamtlerner“: Vor- und Projektwissen-Lerner, Wechsel von den „Wenig-“ zu den „Viel-Könnern“, die übrigen Schüler sind keine Lerner (Stagnierer bzw. Verlerner)**

Die oben genannten fünf Lerner in der externen Kontroll-Gruppe teilen sich auf drei „Vorwissen-Lerner“ und je einen der beiden anderen Lerntypen auf. Durch die zweite Testdurchführung kann somit bei sehr wenigen Schülern Vorwissen aktualisiert werden, im Einzelfall können weitergehende Lernvorgänge induziert werden. Dieses



Ergebnis ist auf der Ebene der quantitativen Auswertung nach der klassischen Testtheorie aufgrund der geringen Fallzahl nicht erkennbar (vgl. Kap. VI 2.2).

Die beobachtete Verteilung der Lerner-Typen weicht für jede Kategorie signifikant von der zu erwartenden Verteilung ab (exakte Fisher-Tests: p-Werte zwischen  $< 0,001$  u.  $0,020$ , vgl. im Detail Anh. 61, 8.7.1). Der paarweise Vergleich der Unterrichtsgruppen ergibt folgende Ergebnisse (vgl. im Detail Anh. 61, 8.7.2):

- Der Anteil der „Vorwissen-Lerner“ ist in der Experimental-Gruppe im Vergleich zur Schul-Gruppe signifikant erniedrigt, die weiteren Unterschiede sind statistisch nicht bedeutsam (exakte Fisher-Tests: Schul- vs. Experimental-Gr.  $p = 0,025$ , Schul- vs. Labor- bzw. Labor – vs. Experimental-Gr. p-Werte  $0,451$  u.  $0,254$ ). Im Lernort Labor wechseln mehr Schüler in der Experimentalsituation direkt von der Klasse der „Wenig-Könnern“ zu den „Viel-Könnern“, eine ausschließliche Aktualisierung von Vorwissen findet kaum statt.
- Der Anteil der „Projektwissen-Lerner“ ist in der Experimental-Gruppe gegenüber beiden nicht experimentellen Gruppen (Labor- und Schul-Gruppe) signifikant erhöht, die sich ihrerseits nicht unterscheiden (exakte Fisher-Tests: Schul- bzw. Labor- vs. Experimental-Gr.  $p = 0,042$  bzw.  $0,034$ , Schul- vs. Labor-Gr.  $p = 1,000$ ). Unabhängig vom Lernort, ob Schule oder Labor, werden somit Schüler bei vorhandenem Vorwissen durch das selbsttätige Experimentieren gefördert.
- Die Unterschiede in den Anteilen der Gesamt-Lerner sind statistisch nicht bedeutsam (exakte Fisher-Tests: p-Werte zwischen  $0,142$  u.  $0,665$ ).

### 2.3.6 Teilzusammenfassung

Im Folgenden sind die Ergebnisse zum Subtest Wissenserwerb bezogen auf den Vergleich der Untersuchungsgruppen zusammengefasst:

- Ein Pretest-Effekt lässt sich weder für den gesamten Subtest Wissenserwerb noch für die inhaltlich bzw. anforderungsmäßig differenzierten Itemgruppen feststellen. Die qualitative Analyse weist allerdings für einzelne Schüler in der externen Kontroll-Gruppe Lernvorgänge nach.
- In allen Unterrichtsgruppen lernen die Schüler vom Vor- zum Nachtest I dazu und erwerben ein persistentes Wissen (Vergleich VT/NT II). Einen Teil des gelernten Wissens vergessen sie bis zum dritten Messzeitpunkt wieder (Vergleich NT I/NT II).

- Entsprechendes gilt für die inhaltlich projektbezogenen Items, während für die Vorwissen-Items nur im Lernort Labor, nicht aber im Lernort Schule, ein Wissenserwerb stattfindet, und zwar unabhängig vom selbsttätigen Experimentieren (in der nicht experimentellen Labor- und der Experimental-Gruppe).
- Die Schüler der Schul-Gruppe ihrerseits zeigen im Gegensatz zu den beiden Gruppen im Lernort Labor (nicht experimentellen Labor- und Experimental-Gruppe) kein signifikantes Vergessen im Bereich Items mit der Anforderungsstufe Transfer.
- Sowohl für den gesamten Subtest als auch für die einzelnen Itemgruppen bestehen signifikante Unterschiede im Vortest, daher lassen sich nur die Differenz- und Lernerfolgsgrößen auswerten.
- Für den Wissenszuwachs und die Behaltensleistung lassen sich für alle Itemgruppen keine Unterschiede zwischen den Unterrichtsgruppen finden. Das Vergessensmaß im Gesamttest und für die projektbezogene Itemgruppe ist dagegen für die Schüler der Experimental-Gruppe signifikant höher als bei den Schülern im Lernort Schule.
- Der aktuelle Lernerfolg für den gesamten Itempool ist bei den Schülern der Experimental-Gruppe gegenüber den Schülern im Lernort Schule erhöht. Im Bereich der Vorwissen-Items zeigen die Schüler der nicht experimentellen Labor-Gruppe einen signifikant höheren Lernerfolg als die Schüler der Schul-Gruppe. Für den persistenten Lernerfolg lassen sich keine signifikanten Unterschiede finden.
- Signifikante positive Zusammenhänge zwischen den schulischen Leistungen und den Lernleistungen mit höherem Anforderungsniveau finden sich nur in der Schul-Gruppe, solche mit aktuellen und dauerhaften Lernleistungen teilweise zusätzlich in der Experimental-Gruppe, während in der nicht experimentellen Labor-Gruppe keine statistisch bedeutsamen Zusammenhänge feststellbar sind. Nur bei der Experimental-Gruppe treten signifikante positive Korrelationen zwischen dauerhaften Lernleistungen bzw. solchen mit Transferrniveau und der unterrichtlichen Experimentiererfahrung über Demonstrationsexperimente auf.
- Die Verteilung der durch die latente Klassenanalyse festgelegten Schülergruppen Lerner, Stagnierer und Verlerner weicht in den Untersuchungsgruppen signifikant

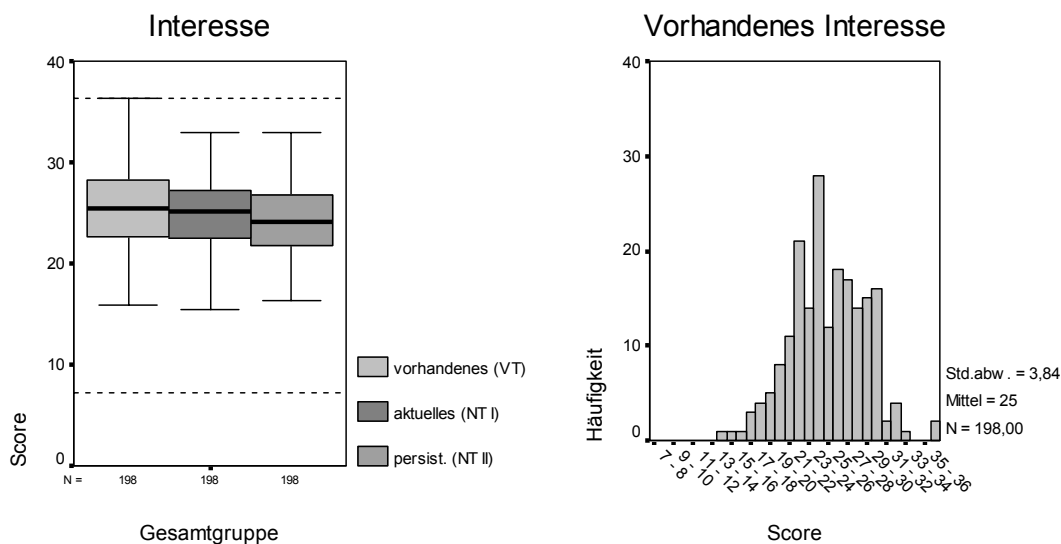
von der zu erwartenden Verteilung ab. Im Lernort Labor (nicht experimentelle Labor- und Experimental-Gruppe) treten weniger Stagnierer und mehr Lerner als im Lernort Schule auf. Dabei ist der Anteil des inhaltlich differenzierten Lerner-Typs Vorwissen-Lerner in der Experimental-Gruppe signifikant niedriger als in der Schul-Gruppe. Der Anteil des Typs Projektwissen-Lerner bei vorhandenem Vorwissen ist in der Experimental-Gruppe höher als in beiden nicht experimentellen Gruppen (Schul- und nicht experimentelle Labor-Gruppe).

### 3. Befunde zum Subtest Interesse

#### 3.1 Resultate der Gesamtgruppe

##### 3.1.1 Betrachtung des gesamten Subtests

Das Interesse an gentechnischen Fragestellungen wurde im Vortest als vorhandenes, im Nachtest I - im Anschluss an die Unterrichtsveranstaltung - als aktuelles und im Nachtest II - im Mittel nach 46 Tagen (vgl. Kap. V 4.1) - als persistentes Interesse erfasst (Abb. 55 li.).



**Abb. 55: Vorhandenes, aktuelles und persistentes Interesse der Gesamtgruppe an gentechnische Fragestellungen (li., die durchbrochenen Linien verdeutlichen die minimal bzw. maximal möglichen Scores) und Antworttendenz im Vortest (re., dargestellt ist der Bereich zwischen dem Minimal- und dem Maximalwert)**

Zu jedem Messzeitpunkt ist das Interesse hoch. Die Antworttendenzen zeigen entsprechende Deckeneffekte (vgl. beispielhaft Abb. 55 re. und Anh. 62, 1.): Im

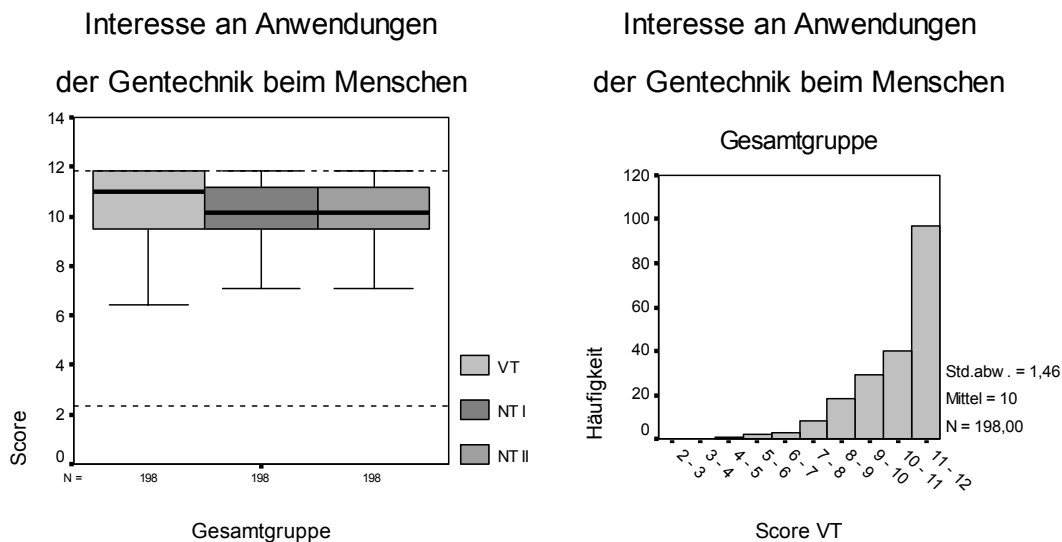
Vortest liegen 97,0 %, im Nachtest I 95,1 % und im Nachtest II erneut 97,0 % der Schüler über der Hälfte des maximal möglichen Scores.

Die Veränderung des Interesses über die drei Messzeitpunkte ist signifikant (Friedman-Test:  $p < 0,001$ ). Die paarweise Analyse ergibt eine statistisch bedeutsame Abnahme vom Vortest und vom Nachtest I zum Nachtest II, der Wechsel vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt ist nicht signifikant (Wilcoxon-Tests: VT/NT II  $p < 0,001$ , NT I/NT II  $p = 0,001$ , VT/NT I  $p = 0,083$ , vgl. im Detail Anh. 62, 1.2). Das bedeutet, dass die Unterrichtsveranstaltung, bezogen auf die Gesamtskala zum Interesse, eine langfristige Abnahme des schon hohen Interesses bewirkt.

### 3.1.2 Analyse der Faktoren-Scores

Die Betrachtung der drei identifizierten Faktoren zum Subtest Interesse - Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen, an Anwendungen im Rahmen der Grünen Gentechnik und an ethischen Aspekten der Gentechnik (vgl. Kap. V 4.4.2) - zeigt deutliche Unterschiede in der Interessenlage der Schüler.

Am höchsten ist das Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen (Abb. 56 li.).

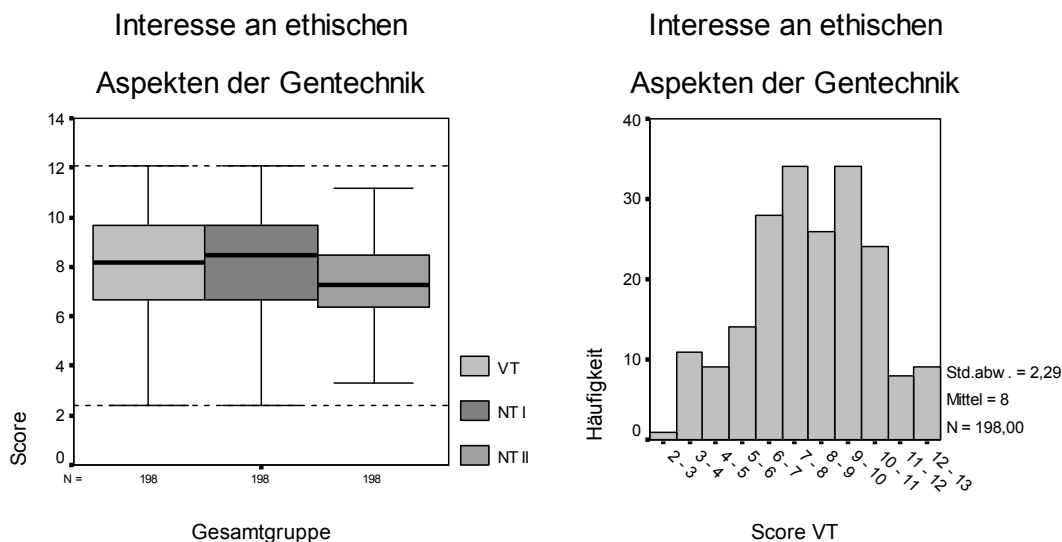


**Abb. 56: Faktor Interesse an gentechnischen Anwendungen beim Menschen: Faktoren-Scores zu den drei Messzeitpunkten (li., die Linien geben den minimalen u. maximalen Wert an) und die Antworttendenz im Vortest (re., dargestellt ist Bereich zwischen dem Minimal- und dem Maximalwert).**

Bereits im Vortest liegt ein ausgeprägter Deckeneffekt vor, 98 % der Schüler zeigen einen Score, der über der Hälfte des Maximalwertes liegt (Abb. 56 re.). Gleiches gilt

für die beiden späteren Messzeitpunkte (vgl. im Detail Anh. 62, 2.1.1.). Die Veränderung über die drei Zeitpunkte ist signifikant (Friedman-Test:  $p = 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 62, 2.1.2), dabei ist der Rückgang vom ersten zum zweiten bzw. zum dritten Messzeitpunkt signifikant (Wilcoxon-Tests: VT/NT I  $p < 0,001$ , VT/NT II  $p = 0,001$ , NT I/NT II  $p = 0,817$ , vgl. im Detail Anh. 62, 2.1.2). Durch die Unterrichtsveranstaltung wird somit das Interesse geringer und bleibt im Nachtest II auf hohem Niveau stabil.

Am zweithöchsten ist das Interesse an ethischen Aspekten der Gentechnik (Abb. 57 li.). Im Vortest liegt eine leicht nach oben verschobene Antworttendenz vor (Abb. 57 re.), die im Nachtest I erhalten bleibt. Im Nachtest II ist die Antworttendenz zur Mitte hin verändert (vgl. im Detail Anh. 62, 2.2.1).

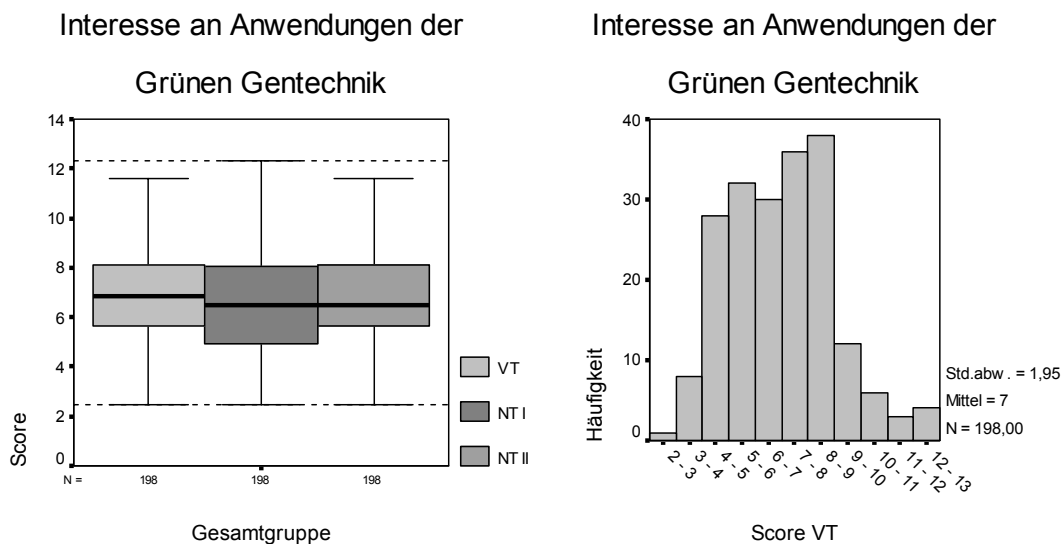


**Abb. 57: Faktor Interesse an ethischen Aspekten der Gentechnik: Faktoren-Scores zu den drei Messzeitpunkten (li., die Linien geben den minimalen u. maximalen Wert an) und die Antworttendenz im Vortest (re., dargestellt ist Bereich zwischen dem Minimal- und dem Maximalwert).**

Die Veränderung über die drei Zeitpunkte ist signifikant (Friedman-Test:  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 62, 2.2.2), dabei ist der Rückgang vom ersten bzw. vom zweiten zum dritten Messzeitpunkt signifikant, während die Zunahme vom Vor- zum Nachtest I statistisch nicht bedeutsam ist (Wilcoxon-Tests: VT/NT II u. NT I/NT II  $p < 0,001$ , VT/NT I  $p = 0,085$ , vgl. im Detail Anh. 62, 2.2.2). Das Interesse an ethischen Aspekten der Gentechnik sinkt also erst langfristig in Folge der Unterrichtsveranstaltung ab.

Am geringsten ist das Interesse an Anwendungen der Grünen Gentechnik (Abb. 58 li.). Die Antworten zeigen bereits im Vortest einen leichten Bodeneffekt (Abb. 58 re.),

der sich in den beiden Nachtests bestätigt (vgl. im Detail Anh. 62, 2.3.1). Die Veränderung über die drei Messzeitpunkte ist nicht signifikant (Friedman-Test:  $p = 0,055$ , vgl. im Detail Anh. 62, 2.3.2). Das Interesse an Anwendungen der Grünen Gentechnik bleibt somit auf niedrigem Niveau unbeeinflusst von der Unterrichtsveranstaltung stabil.



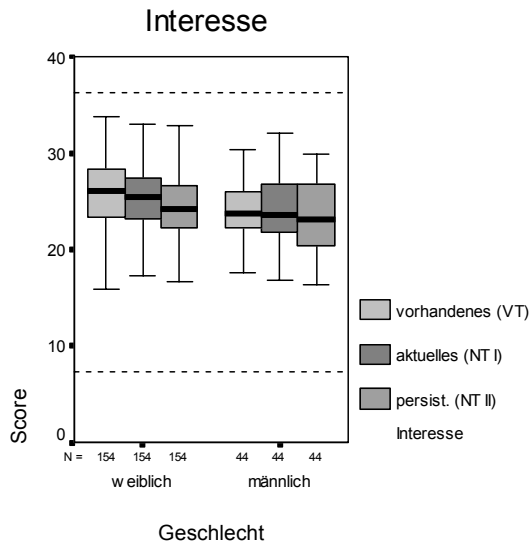
**Abb. 58: Faktor Interesse an Anwendungen der Grünen Gentechnik: Faktoren-Scores zu den drei Messzeitpunkten (li., die Linien geben den minimalen u. maximalen Wert an) und die Antworttendenz im Vortest (re., dargestellt ist Bereich zwischen dem Minimal- und dem Maximalwert).**

### 3.1.3 Beziehungen zu anderen Variablen

Sowohl im Hinblick auf die Gesamtskala des Subtests Interesse als auch auf die Faktoren treten signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede auf.

Mädchen zeigen generell ein höheres Interesse an gentechnischen Fragen (Abb. 59), die Differenz ist allerdings nur im Vortest signifikant (Mann-Whitney-Test: VT  $p = 0,004$ , NT I  $p = 0,057$ , NT II  $p = 0,165$ , vgl. im Detail Anh. 62, 3.1).

Nur bei den Mädchen ist die Veränderung des gesamten Interesses über die drei Messzeitpunkte signifikant, wobei die schrittweise Abnahme jeweils ebenfalls statistisch bedeutsam ist (Friedman-Tests: Mädchen  $p < 0,001$ , Jungen  $p = 0,142$ , Wilcoxon-Tests: Mädchen VT/NT I  $p = 0,022$ , NT I/NT II  $p = 0,005$ , VT/NT II  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 62, 3.5.1). Die Unterrichtsveranstaltung führt somit nur bei den Mädchen zu einer Verringerung des Interesses, bei den Jungen wird das etwas niedrigere Interesse nicht beeinflusst und bleibt langfristig stabil.



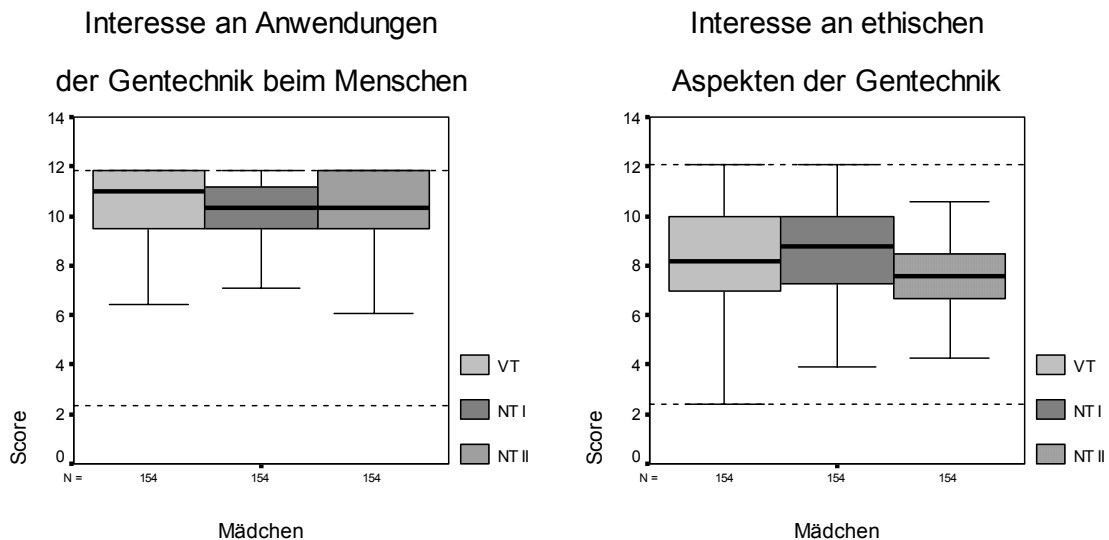
**Abb. 59: Einfluss des Geschlechts auf das vorhandene, aktuelle und persistente Interesse an gentechnische Fragestellungen (die durchbrochenen Linien verdeutlichen die minimal bzw. maximal möglichen Scores)**

Die Analyse für die beiden sich in der Gesamtgruppe signifikant ändernden Faktoren, Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen und an ethischen Aspekten der Gentechnik, ergibt – im Gegensatz zum dritten Faktor Interesse an Anwendungen der Grünen Gentechnik - zu einzelnen Messzeitpunkten jeweils für die Mädchen statistisch bedeutsame höhere Scores (Mann-Whitney-Tests: Anwendungen beim Menschen VT  $p = 0,012$ , NT I  $p = 0,062$ , NT II  $p = 0,002$ , ethische Aspekte VT  $p = 0,001$ , NT  $p = 0,018$ , NT II  $p = 0,234$ , Grüne Gentechnik:  $p$ -Werte  $\geq 0,221$ , vgl. im Detail Anh. 62, 3.2 bis. 3.4). Die Betrachtung der zwei Teilgruppen zeigt, dass sich das Interesse nur bei den Mädchen statistisch signifikant ändert (Tab. 38, vgl. im Detail Anh. 62, 3.5.2 u. 3).

**Tab. 38: Geschlechtsspezifische Unterschiede in der zeitlichen Veränderung der Interesse-Scores (angegeben sind die  $p$ -Werte für die jeweiligen Friedman- bzw. Wilcoxon-Tests)**

Faktor: Interesse an	Anwendungen der Gentechnik beim Menschen		ethischen Aspekten der Gentechnik	
	Mädchen	Jungen	Mädchen	Jungen
Geschlecht				
Veränderung				
über die drei Messzeitpunkte	0,001	0,228	< 0,001	0,126
Vortest – Nachtest I	< 0,001	-	0,368	-
Nachtest I – Nachtest II	0,547	-	< 0,001	-
Vortest – Nachtest II	0,004	-	< 0,001	-

Diese Veränderungen (Abb. 60) stimmen in beiden Fällen mit denen der Gesamtgruppe überein (vgl. oben Abb. 56 u. 57).



**Abb. 60: Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen und zu ethischen Aspekten: Faktoren-Scores der Teilgruppe Mädchen zu den drei Messzeitpunkten (die Linien geben jeweils den minimalen u. maximalen Wert an)**

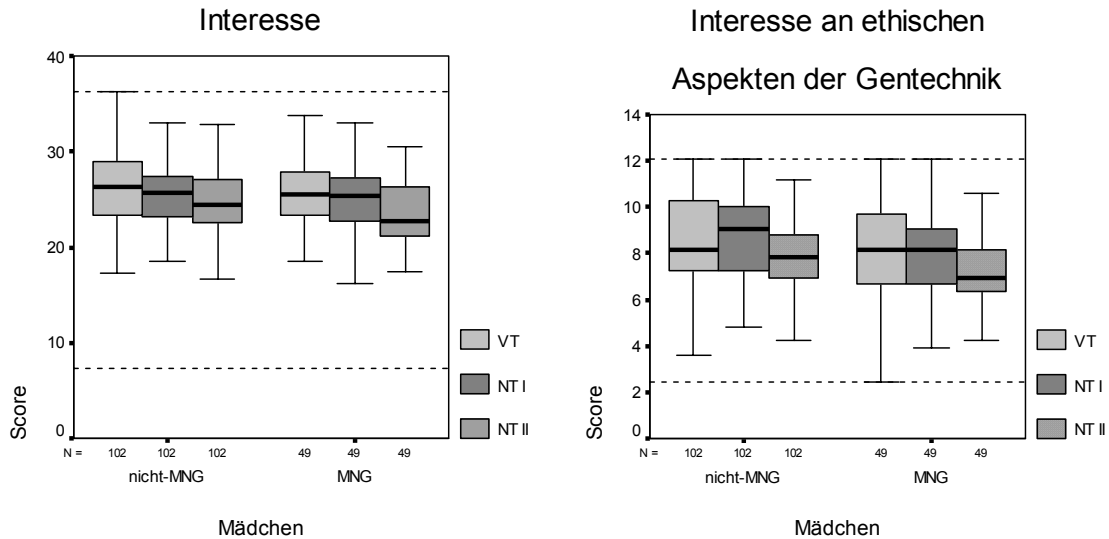
Das Interesse der Jungen wird jeweils nicht verändert und bleibt langfristig auf dem vorhandenen Niveau stabil. Somit kann in Folge auf die Teilgruppe der Jungen verzichtet werden, da durch die Unterrichtsveranstaltung keine quantitative Beeinflussung des Interesses feststellbar ist.

Für die verbleibende Teilgruppe der Mädchen werden im Folgenden weitere unabhängige Variablen betrachtet.

Nur im Einzelfall lassen sich signifikante Einflüsse des Schulzweiges, bezogen auf den mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig, feststellen (Abb. 61).

Bei statistisch nicht bedeutsamen Unterschieden im Vortest und im Nachtest I ist das persistente Interesse insgesamt und speziell an ethischen Aspekten bei den nicht-MNG-Schülerinnen signifikant erhöht (Kruskal-Wallis-Test: Interesse NT II  $p = 0,045$ , an ethische Aspekten NT II  $p = 0,011$ , restliche  $p$ -Werte zwischen  $0,127$  u.  $0,994$ , vgl. im Detail Anh. 62, 4.1 bis 4.3). In beiden Fällen bedingt die Unterrichtsveranstaltung somit einen geringeren Rückgang des Interesses. Das Interesse insgesamt verändert sich durch die Unterrichtsveranstaltung nur bei den nicht-MNG-Schülerinnen im Gegensatz zu den MNG-Mädchen signifikant, während sich die Veränderungen im Hinblick auf das Interesse an ethischen Aspekten nicht unterscheiden (Tab. 39, vgl. im Detail Anh. 62, 4.4).





**Abb. 61:** Einfluss des Schulzweigs (MNG vs. nicht-MNG) auf das vorhandene (VT), aktuelle (NT I) und persistente (NT II) Interesse an gentechnische Fragestellungen und speziell an ethischen Aspekten der Gentechnik zu den drei Messzeitpunkten bei der Teilgruppe der Mädchen (die durchbrochenen Linien verdeutlichen die minimal bzw. maximal möglichen Scores)

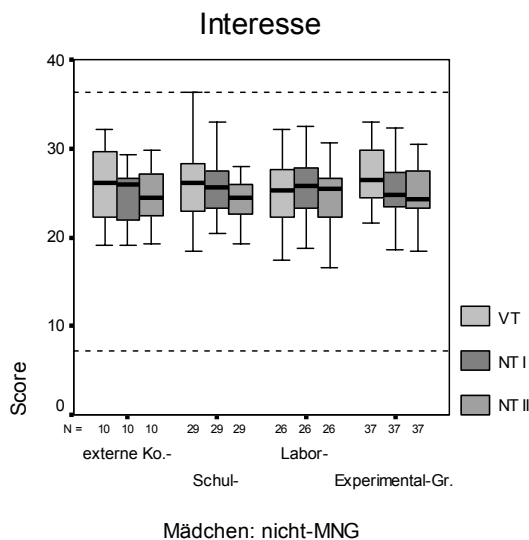
**Tab. 39:** Schulzweigspezifische Unterschiede (bezogen auf den MNG-Zweig) in der zeitlichen Veränderung der Interesse-Scores insgesamt und des Faktoren-Scores zum Interesse an ethischen Aspekten (angegeben sind die p-Werte für die jeweiligen Friedman- bzw. Wilcoxon-Tests)

Interesse	gesamt		an ethischen Aspekten	
Geschlecht	nicht-MNG	MNG	nicht-MNG	MNG
Veränderung				
über die drei Messzeitpunkte	< 0,001	0,205	< 0,001	0,001
Vortest – Nachtest I	< 0,001	-	0,368	0,981
Nachtest I – Nachtest II	0,547	-	< 0,001	0,002
Vortest – Nachtest II	0,004	-	< 0,001	0,001

Sehr geringe bis geringe signifikante positive Korrelationen zwischen einzelnen Variablen zum Subtest Interesse und der eigenen Experimentiererfahrung der Schülerinnen über Schülerexperimente finden sich für das vorhandene und das aktuelle Interesse sowie für das Interesse an Anwendungen beim Menschen zu den drei Messzeitpunkten (Spearman-Rho: r-Werte zwischen 0,167 u. 0,328, vgl. im Detail Anh. 62, 5.). Entsprechende Zusammenhänge zwischen Interessevariablen und der unterrichtlichen Experimentiererfahrung über Demonstrationsexperimente bzw. den schulischen Leistungen der Schülerinnen treten nicht auf.

### 3.2 Veränderungen des Interesses innerhalb der Untersuchungsgruppen in der Teilgruppe Mädchen

Die Analyse der Gesamtgruppe zeigte auf, dass nur in der Teilgruppe der Mädchen signifikante Veränderungen über die einzelnen Messzeitpunkte feststellbar sind, und zwar im Hinblick auf den gesamten Subtest Interesse nur bei den nicht-MNG-Schülerinnen und in Bezug auf die Faktoren-Scores Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen und an ethischen Aspekten der Gentechnik bei der ganzen Teilgruppe (vgl. Kap. VI 3.1.3). Diese Variablen werden im Folgenden auf Veränderungen innerhalb der einzelnen Untersuchungsgruppen überprüft.

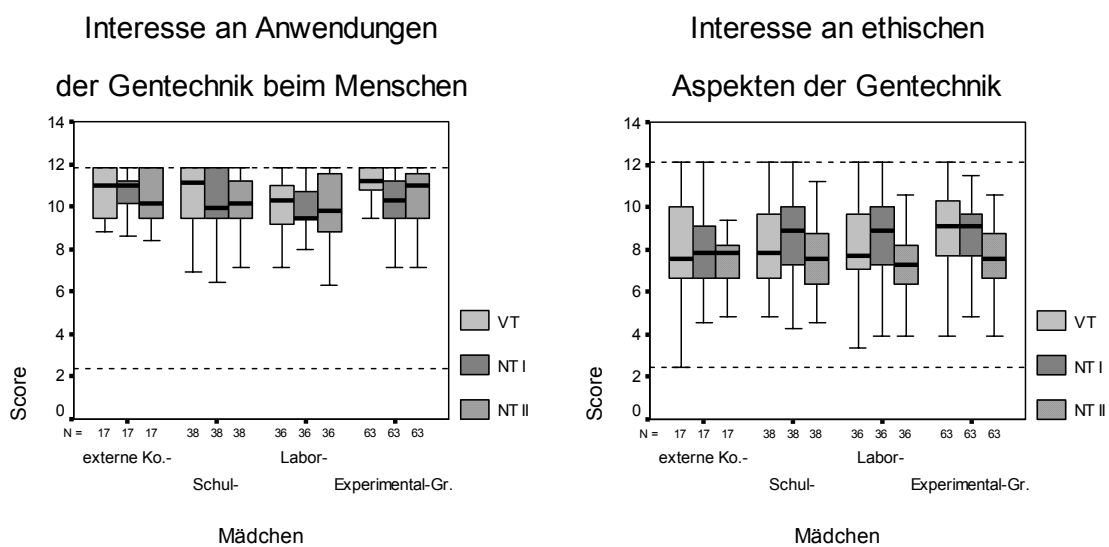


**Abb. 62: Veränderung des Interesses in den Untersuchungsgruppen der Teilgruppe Mädchen/nicht-MNG über die drei Messzeitpunkte (die durchbrochenen Linien verdeutlichen die minimal bzw. maximal möglichen Scores)**

Die Veränderungen des gesamten Interesse-Scores (Abb. 62) sind in der externen Kontrolle nicht signifikant. Dies bedeutet, dass für den Subtest Interesse kein Pretest-Effekt vorliegt, weist aber gleichzeitig auf die Stabilität des gemessenen Konstruktes hin. Auch die Veränderungen in der Schul- und der nicht experimentellen Labor-Gruppe sind im Gegensatz zur Experimental-Gruppe nicht statistisch bedeutsam (Friedman-Tests: externe Kontroll-  $p = 0,670$ , Schul-  $p = 0,127$ , Labor-  $0,764$ , Experimental-Gruppe  $p < 0,001$ , vgl. im Detail Anh. 63, 1.2). In dieser Gruppe ist der Rückgang des Interesses vom Vortest zum Nachtest I bzw. Nachtest II signifikant, das durch die Unterrichtsveranstaltung erreichte Niveau dann allerdings stabil (Wilcoxon-Tests: VT/NT I  $p < 0,001$ , VT/NT II  $p = 0,004$ , NT I/NT II  $p = 0,489$ , vgl. im Detail Anh. 63, 1.2.4).

Um die Vergleichbarkeit mit der folgenden Betrachtung der Interesseseiten herzustellen, wurde zusätzlich die gesamte Teilgruppe der Mädchen überprüft, die gewonnenen Ergebnisse unterscheiden sich nicht (vgl. im Detail Anh. 63, 1.1).

Die Veränderungen des Faktoren-Scores für das Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen und an ethischen Aspekten der Gentechnik (Abb. 63) sind in der externen Kontroll-Gruppe über die drei Messzeitpunkte nicht statistisch bedeutsam (Friedman-Tests:  $p = 0,692$  bzw.  $p = 0,627$  vgl. im Detail Anh. 63, 1.3.1 u.1.4.1).



**Abb. 63: Veränderung des Interesses zur Anwendung der Gentechnik beim Menschen und an ethischen Aspekten der Gentechnik in den Untersuchungsgruppen der Teilgruppe Mädchen über die drei Messzeitpunkte (die durchbrochenen Linien verdeutlichen die minimal bzw. maximal möglichen Scores)**

Die Unterrichtsgruppen unterscheiden sich im Hinblick auf die zeitlichen Änderungen (Tab. 40, vgl. im Detail Anh. 63, 1.3 u. 1.4).

**Tab. 40: Zeitliche Veränderung der Faktoren-Scores zum Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen und an ethischen Aspekten in den Unterrichtsgruppen (angegeben sind die p-Werte für die jeweiligen Friedman- bzw. Wilcoxon-Tests)**

Interesse an	Anwendungen der Gentechnik beim Menschen			an ethischen Aspekten der Gentechnik		
	Schul-	Labor-	Experi-mental-Gr.	Schul-	Labor-	Experi-mental-Gr.
Veränderung über die drei Messzeitpunkte	0,093	0,975	< 0,001	0,012	0,02	< 0,001
Vortest – Nachtest I	-	-	< 0,001	0,053	0,016	0,060
Nachtest I – Nachtest II	-	-	0,195	0,002	0,001	< 0,001
Vortest – Nachtest II	-	-	0,001	0,212	0,024	< 0,001

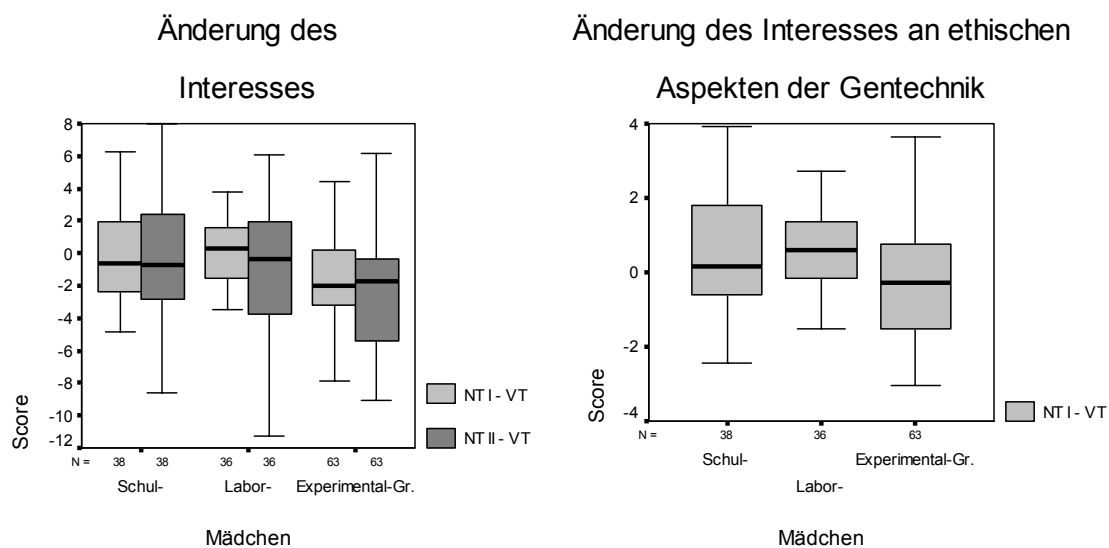
Bezogen auf das Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen zeigt sich, dass der in der Gesamtgruppe festgestellte Rückgang vom ersten zum zweiten bzw. dritten Messzeitpunkt (vgl. Kap. VI 3.1.2) allein von der Experimental-Gruppe verursacht wird; die Änderungen in beiden nicht experimentellen Gruppen (Schul- und Labor-Gruppe) sind nicht statistisch bedeutsam. Im Hinblick auf den zweiten Interessenfaktor ist das Ergebnis differenzierter. Die in der Gesamtgruppe nicht signifikante Zunahme vom Vor- zum Nachtest I (vgl. Kap. VI 3.1.2) tritt in beiden nicht experimentellen Gruppen auf, dabei statistisch bedeutsam im Lernort Labor (nicht experimentelle Labor-Gruppe). Das von vornherein höhere Niveau in der Experimental-Gruppe ändert sich nicht signifikant. Der oben festgestellte Rückgang des Interesses vom zweiten Messzeitpunkt zum Nachtest II tritt in allen Unterrichtsgruppen auf, das Interesse wird durch den Unterricht nur kurzfristig erhöht und ist im Lernort Labor (nicht experimentell und experimentell) im Nachtest II auch signifikant niedriger als das Ausgangsinteresse im Vortest.

### **3.3 Vergleich der Unterrichtsgruppen in der Teilgruppe Mädchen**

#### **3.3.1 Änderungen des Interesses**

Die bisher in den weiblichen Unterrichtsgruppen festgestellten Unterschiede in der zeitlichen Änderung des gesamten Interesses bzw. der beiden Interessequanten zur Anwendung der Gentechnik beim Menschen und zu ethischen Aspekten der Gentechnik werfen die Frage nach deren statistischer Signifikanz auf. Die Veränderungen wurden dazu als Differenzgrößen (Nachtest I – Vortest, Nachtest II – Vortest und Nachtest I – Nachtest II) erfasst. Eine derartige Analyse ist auch deshalb notwendig, da sich die Mädchen in den Untersuchungsgruppen in den Scores für das Interesse insgesamt und das Interesse an Anwendungen beim Menschen bereits im Vortest signifikant unterscheiden. Die Differenzen sind im Nachtest I bzw. Nachtest II aufgehoben (Kruskal-Wallis-Tests: Gesamtskala VT  $p = 0,005$ , NT I  $p = 0,889$ , NT II  $p = 0,787$ , Anwendungen beim Menschen VT  $p < 0,001$ , NT I  $p = 0,215$ , NT II  $p = 0,299$ , vgl. im Detail Anh. 63, 2.1 u. 2).

Der Vergleich über alle Untersuchungsgruppen ergibt für die Änderung im gesamten Interesse und im Interesse an ethischen Aspekten der Gentechnik vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt signifikante Unterschiede, bei ersterem auch vom ersten zum dritten Zeitpunkt (Abb. 64). Alle anderen Differenzen sowie die Änderungen im Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen sind so gering, dass sie statistisch nicht bedeutsam sind (Kruskal-Wallis-Tests: Gesamtskala NT I – VT  $p = 0,003$ , NT II – VT  $p = 0,038$ , Interesse an ethischen Aspekten NT I – VT  $p = 0,010$ , restliche  $p$ -Werte zwischen  $0,067$  u.  $0,874$ , vgl. im Detail Anh. 63, 2.3.1 – 3).



**Abb. 64: Vergleich der Änderungen im Interesse insgesamt und an ethischen Aspekten zwischen den Unterrichtsgruppen der Mädchen: negative Scores verdeutlichen eine Abnahme, positive eine Zunahme der jeweiligen Variable (signifikante Unterschiede vgl. Tab. 41)**

Der paarweise Vergleich (Tab. 41) zeigt, dass die Abnahme des Interesses insgesamt in der Experimental-Gruppe durch den Unterricht kurzfristig bzw. persistent signifikant größer ist als die (ihrerseits nicht statistisch bedeutsamen) Veränderungen in den beiden nicht experimentellen Unterrichtsgruppen (Schul- bzw. nicht experimentelle Labor-Gruppe, vgl. Kap. VI 3.2). Im Gegensatz dazu ist die Zunahme des Interesses an ethischen Aspekten der Gentechnik durch den nicht experimentellen Unterricht in diesen Gruppen signifikant größer als die (ebenfalls statistisch nicht bedeutsame) geringe Abnahme in der experimentellen Unterrichtsgruppe (vgl. Tab. 40 Kap. VI 3.2).

**Tab. 41: Vergleich der Änderungen im Interesse insgesamt und an ethischen Aspekten der Gentechnik zwischen den Unterrichtsgruppen der Mädchen (angegeben sind die p-Werte für die jeweiligen Mann-Whitney-Tests)**

Differenz	Änderung des Interesses	insgesamt		an ethischen Aspekten der Gentechnik	
		Schul-	Labor-	Schul-	Labor-
NT I - VT	Unterrichtsgruppe				
	vs.				
	Labor-	0,387		0,883	
	Experimental- Gr.	0,022	0,001	0,007	0,004
NT II - VT	Labor-	0,791			
	Experimental- Gr.	0,012	0,035		

### 3.3.2 Beziehung zu anderen Variablen

Die in der Gesamtgruppe festgestellten signifikanten Zusammenhänge zwischen der eigenen Experimentiererfahrung und dem vorhandenen bzw. aktuellen Interesse sind auf der Ebene der weiblichen Unterrichtsgruppen nicht mehr vorhanden. Die über alle drei Zeitpunkte erkennbaren Korrelationen zum Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen sind nur in den beiden nicht experimentellen Gruppen, unabhängig vom Lernort, im Vortest und im Nachtest II vorhanden (vgl. im Detail Anh. 63, 3.). Da sich allerdings die entsprechenden Faktoren-Scores in beiden Gruppen nicht signifikant ändern (vgl. Tab. 40, Kap. VI 3.2), werden diese Zusammenhänge als nicht bedeutsam eingeschätzt.

### 3.4 Teilzusammenfassung

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Subtests Interesse zusammengefasst:

- Das Interesse der Schüler an gentechnischen Fragestellungen ist insgesamt hoch, jedoch inhaltsbezogen abgestuft:  
Das Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen ist höher als das Interesse an ethischen Aspekten, am geringsten ist das Interesse an Anwendungen der Grünen Gentechnik.
- Mädchen zeigen insgesamt und bei den Faktoren Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen und an ethischen Aspekten ein höheres Interesse als Jungen, deren niedrigeres Niveau wird von der Unterrichtsveranstaltung nicht verändert.
- In der Teilgruppe der Mädchen ist die Abnahme des gesamten Interesses in der Experimental-Gruppe signifikant gegenüber den fehlenden Veränderungen in den nicht experimentellen Unterrichtsgruppen (Schul- und nicht experimentelle Labor-

Gruppe). Andererseits ist bei den Schülerinnen dieser Gruppen die Zunahme des Interesses an ethischen Aspekten der Gentechnik durch den nicht experimentellen Unterricht signifikant gegenüber der fehlenden Änderung der Experimental-Gruppe. Die Änderungen im Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen sind statistisch nicht bedeutsam, das Interesse an Anwendungen der Grünen Gentechnik ändert sich gar nicht.

- Signifikante Einflüsse der unabhängigen Variablen Schulzweig, vorherige schulische Leistungen und unterrichtliche bzw. eigene Experimentiererfahrungen lassen sich in der Teilgruppe der Mädchen nicht finden.

#### **4. Signifikante Korrelationen zwischen Größen aus unterschiedlichen Subtests**

Für die folgende Analyse wurden ausgewählte signifikante Zusammenhänge in einzelnen Unterrichtsgruppen zwischen verschiedenen Größen aus unterschiedlichen Subtests untersucht (Tab. 42 u. 43). Dabei wurden nur Variablen betrachtet, bei denen in der bisherigen Analyse zwischen den Unterrichtsgruppen statistisch bedeutsame Unterschiede gefunden wurden. Im Weiteren wurden allein solche Korrelationen herausgegriffen, in denen - auf der Grundlage eines signifikanten Zusammenhangs in der Gesamtgruppe - zwischen den Unterrichtsgruppen statistisch bedeutsame Differenzen identifizierbar waren (vgl. im Detail Anh. 64, 1. u. 2). Wenn einzelne Wissensbestände bei einer Unterrichtsgruppe mit einer anderen Größe korrelierten, wurden diese bezogen auf die Itemtypen weiter differenziert (vgl. im Detail Anh. 64, 3.).

Zunächst werden die Ergebnisse des Subtests Wissenserwerb in Bezug auf die beiden anderen Subtests zusammenfassend betrachtet (Tab. 42).

**Tab. 42: Signifikante Zusammenhänge zwischen berechneten Größen des Subtests Wissenserwerb mit den beiden anderen Subtests in einzelnen Unterrichtsgruppen („+“ gleichsinnig, „-“ gegensinnig, Voraussetzung: signifikante Korrelation in der Gesamtgruppe; angegeben sind die Spearman-Rho-Koeffizienten, weitere Details im Text und im Anh. 64, 1. bis 3.)**

Unterrichtsgruppe	Variable 1	Zusammenhang	Variable 2	Korrelationskoeffizient
Schul-Gruppe	Aktuelle Akzeptanz	+ ----->	Persistentes Wissen	0,361
	Affektive Bewertung	+ ----->	Persistentes Wissen	0,367
	Vorhandenes Interesse	+ ----->	Persistentes Wissen	0,411
Experimental-Gruppe	Vorhandenes Wissen	+ ----->	Rückblick. affektive Bewertung	0,233
	Persistentes Wissen	+ ----->	Rückblick. affektive Bewertung	0,248

Nur in der Schulgruppe gibt es einen signifikanten positiven Zusammenhang zwischen der aktuellen Akzeptanz auf der Ebene der affektiven Bewertung und dem späteren, persistenten Wissen zum dritten Messzeitpunkt (vgl. Tab. 42). Itemtypenbezogen lässt sich diese Korrelation nur bei den Items mit Transfer-Niveau bzw. den Projektwissen-Items feststellen (vgl. im Detail Anh. 64, 3.). Im Lernort Schule erreichen somit Schüler mit einer unmittelbaren positiveren Bewertung des Unterrichts in ihrem Nachtest II einen entsprechend höheren Wissens-Score. Im Lernort Labor, also in der nicht experimentellen Labor- Gruppe und der Experimental-Gruppe und damit unabhängig vom selbsttätigen Experimentieren, bedeutet eine hohe Akzeptanz nicht unbedingt einen persistenten Lernvorgang.

Nur in der Experimental-Gruppe findet sich eine signifikante positive Korrelation zwischen dem vorhandenen Wissen zum ersten Messzeitpunkt und der rückblickenden affektiven Bewertung des Unterrichts im Nachtest II (Tab. 42), der sich inhaltlich ausschließlich auf die Vorwissen-Items bezieht (vgl. im Detail Anh. 64, 3.). Je größer das vorhandene Vorwissen bei den Schülern war, umso besser schätzen sie den erlebten Experimentalunterricht in der Rückschau ein.

Ebenfalls nur in der Experimental-Gruppe liegt ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen der Höhe des persistenten Wissens im Nachtest II und der rückblickenden affektiven Bewertung des Unterrichts vor (Tab. 42). Der Zusammenhang bezieht sich inhaltlich ausschließlich auf die projektbezogenen Items (vgl. im Detail Anh. 64, 3.). Je mehr Lerninhalte die Schüler zum dritten Messzeitpunkt kennen, die ihnen vor der Intervention unbekannt waren, umso besser



wird der Unterricht in der Rückschau affektiv beurteilt. Schüler ohne entsprechende Kenntnisse bewerten den Experimentalunterricht niedriger. In der nicht experimentellen Labor- und der Schul-Gruppe, also unabhängig vom Lernort, hängt diese Bewertung nicht mit dem Score des erreichten Wissens zusammen (vgl. im Detail Anh. 64, 1.), obwohl die Scores für die affektive Bewertung in der Rückschau in beiden Gruppen signifikant niedriger als in der Experimental-Gruppe sind (vgl. Kap. VI 1.2.1).

Zwischen der Ebene des Interesses und den Variablen zum Wissenserwerb findet sich nur in der Schulgruppe ein signifikanter Zusammenhang (Tab. 42): Je größer das vorhandene Interesse an gentechnischen Fragestellungen vor der unterrichtlichen Intervention ist, umso höher ist der Wissens-Score im Nachtest II. Dies gilt für beide inhaltlich differenzierten Itemtypen, die Vorwissen- und die projektbezogenen Items (Spearman-Rho  $r = 0,411$ , vgl. im Detail Anh. 64, 3.). Im Lernort Schule wird der langfristige Wissenserwerb durch ein höheres Ausgangsinteresse gefördert. Im Lernort Labor (nicht experimentell und experimentell) ist die entsprechende Korrelation nicht statistisch bedeutsam.

Abschließend werden nun die Ergebnisse des Subtests Interesse mit Variablen des Subtests Akzeptanz in Beziehung gesetzt (Tab. 43).

**Tab. 43: Ausgewählte signifikante Zusammenhänge zwischen berechneten Größen der Subtests Interesse und Akzeptanz in einzelnen Unterrichtsgruppen („+“ gleichsinnig, „-“ gegensinnig, Voraussetzung: signifikante Korrelation in der Gesamtgruppe; angegeben sind die Spearman-Rho-Koeffizienten, weitere Details im Text und im Anh. 64, 1. bis 3.)**

Unterrichtsgruppe	Variable 1	Zusammenhang	Variable 2	Korrelationskoeffizient
Schul-Gruppe	Vorhandenes Interesse	+ ----->	Rückblick. Akzeptanz	0,377
	Vorhandenes Interesse	+ ----->	Rückblick. affektive Bewertung	0,423
	Interesseänderung NT II - VT	- ----->	Rückblick. affektive Bewertung	-0,490
Labor-Gruppe	Vorhandenes Interesse	+ ----->	Rückblick. Akzeptanz	0,399
	Interesse an ethischen Aspekten VT	+ ----->	Rückblick. Akzeptanz	0,319
	Vorhandenes Interesse	+ ----->	Rückblick. affektive Bewertung	0,306

Nur in den beiden nicht experimentellen Gruppen, der nicht experimentellen Labor- und der Schul-Gruppe, finden sich signifikante Korrelationen zwischen dem vorhandenen Interesse an gentechnischen Fragen und der rückblickenden

Akzeptanz, speziell deren affektiver Bewertung. Je größer das Ausgangsinteresse der Schüler gewesen ist, umso besser bewerten sie in der Rückschau auf dieser Ebene den erlebten Unterricht im Nachtest II. In der nicht experimentellen Labor-Gruppe gilt dies insbesondere für das vorhandene Interesse an ethischen Fragen der Gentechnik.

Auffällig ist die nur in der Schul-Gruppe feststellbare negative Korrelation der Differenz zwischen persistentem und Ausgangsinteresse (NT II – VT) mit der zurückschauenden Akzeptanz: Je mehr das Interesse abnimmt, desto höher ist die Zustimmung zum Unterricht in der Rückschau.

## VII. Diskussion der Ergebnisse

### 1. Methodische Aspekte der Studie

#### 1.1 Güte des Erhebungsinstruments

Im Hinblick auf die Güte des Messinstruments ist es notwendig, speziell die Konstruktvalidität zu bewerten, also die Frage, ob die einzelnen Subtests das jeweilige Konstrukt tatsächlich erfasst haben (vgl. Lienert 1969, S. 17). Der Konstruktvalidität kommt nach Bortz & Döring (1995, S. 186) eine besondere Bedeutung zu, da die „Inhaltsvalidität kein objektvierbarer Kennwert ist und Kriteriumsvalidierung mangels geeigneter Außenkriterien nur selten durchführbar ist“. Erstere ist nach Augenschein erfüllt (vgl. Kap. V 1.1). Für letztere gilt, dass nur beim Subtest Wissenserwerb mit den schulischen Leistungen im vorherigen Unterricht ein Außenkriterium vorliegt, das mit dem Wissenserwerb signifikant positiv korreliert (vgl. Kap. V 4.3.2.1) und somit für dieses Konstrukt auf Kriteriumsvalidität hinweist.

Im Folgenden werden die drei Subtests im Hinblick auf ihre Konstruktvalidität diskutiert.

Im **Subtest Akzeptanz** wurden unter Bezug auf die theoretischen Überlegungen von Lucke (1995, S. 88 ff.) im Rahmen der Testkonstruktion die ganzheitliche Wahrnehmung der Unterrichtsveranstaltung und die grundsätzlich zustimmenden Haltungen auf der kognitiven und affektiven Ebene operationalisiert. Des Weiteren wurden der konkrete Unterricht als objektvermittelter und der Neuigkeitswert der Unterrichtsinhalte bzw. deren Bezug zum bisherigen Wissen als subjektvermittelte Kontexte erfasst (vgl. Kap. V 4.2.1). Damit wird Hypothese H1 empirisch überprüfbar (vgl. Kap. IV 2.1):

#### **Hypothese H1:**

Die Operationalisierung der ganzheitlichen Wahrnehmung und/oder der damit verknüpften Akzeptanzkontexte ermöglichen eine Identifizierung von Akzeptanzfaktoren.

Die faktorenanalytische Untersuchung identifizierte zwei wirksame Faktoren (vgl. Kap V 4.2.2.2):

- Faktor „Affektive Bewertung“: er umfasst die ganzheitliche Wahrnehmung, die affektive Zustimmung und die Bewertung der Lehrer-Erklärungen im Unterricht, also einen personengebundenen Aspekt der konkreten Unterrichtserfahrungen;
- Faktor „Bewertung des instrumentellen Handelns“: er beinhaltet die Bewertung des eigenen Handelns anhand der übrigen Erfahrungen im Unterricht.

Damit kann Hypothese H1 als bestätigt angesehen werden.

Die Selbsteinschätzung des eigenen Unterrichtserfolges und des Bezugs zum bisherigen Wissen wechselten vom ersten Faktor im Nachtest I in den zweiten Faktor im Nachtest II, d.h. die Schüler bewerteten rückblickend anders: Nach dem unmittelbaren Erleben des Unterrichts sind die Einschätzungen affektiv geleitet, in der Rückschau werden sie auf das Bewerten des eigenen Handelns im Unterricht bezogen. Die auf den Bekanntheitsgrad der Unterrichtsinhalte bezogenen subjektvermittelten Kontexte erwiesen sich nicht als trennscharf. Das vorhandene Vorwissen beeinflusst die Akzeptanz nicht. Dies könnte auf dem Deckeneffekt der Akzeptanz beruhen (vgl. Kap. VI 1.1): Die Akzeptanz der Unterrichtsveranstaltung zu Aspekten der Gentechnik ist so hoch, dass das unterschiedlich große Vorwissen sich nicht mehr auf die Bewertung auswirkt.

Vergleichbar damit sind - im Sinne einer konvergenten Validierung (Bortz & Döring 1995, S. 187) - Ergebnisse von Oesterling & Toprak (2002, S. 17, 26 u. 32) zur Evaluation von Veranstaltungen aus dem Bereich der Biochemie im „NAT-working SchülerInnenlabor“ der Universität Mainz: Auf der Basis einer sehr positiven Gesamtbewertung gaben die Schüler unabhängig von der Einschätzung des Schwierigkeitsgrads der Chemie als „leicht“ oder „schwer“ zu einem hohen Anteil „Spaß an den Experimenten“ an (90 % vs. 87 %); auch die Bewertung von Biologie oder Chemie als Lieblingsfach hatte „keinerlei Einfluss“ auf das Interesse an einem wiederholten Besuch im Schülerlabor. Insgesamt erfassen Oesterling & Toprak (2002, S. 5) die Akzeptanz – allerdings ohne eine faktorenanalytische Überprüfung und ohne einen theoretischen Bezug - über drei Dimensionen:

- Gesamtbewertung des Schülerlabors;
- Beurteilung der Experimente;
- Bewertung der Betreuer.

Engeln (2004, S. 75) erfasst die Akzeptanz der von ihr untersuchten Schülerlabore nur über zwei Einzelitems, einer Gesamtnote und der Bereitschaft für einen Wiederholungsbesuch. Sie entsprechen der ersten Dimension von Toprak & Oesterling (2002, S. 5).

Zusammenfassend lässt sich feststellen:

Die Validitätsüberlegungen sprechen für eine ausreichend Konstruktvalidität des Subtests Akzeptanz, gestützt nach Finke (1998, S. 81) auch durch die Stabilität der Faktorenladungen im Vergleich von Vor- und Hauptuntersuchung (vgl. Kap. V 4.2.2.2).

Die Ergebnisse zum **Subtest Wissenserwerb** zeigen, dass die Schüler ihr vorhandenes Wissen vergrößern, einen persistenten Wissensbestand erwerben, aber auch einen Teil der gelernten Inhalte wieder vergessen (vgl. Kap. VI 2.1.1). Die Ergebnisse der latenten Klassenanalyse verdeutlichen zusätzlich, dass der Test, inhaltlich zwischen vorwissen- und projektbezogenen Items differenziert (vgl. Kap. V 4.3.2.2). Der jeweils erreichte Wissenszuwachs (Differenz NT I – VT) (Tab. 44) weist auf eine gute Kongruenz zwischen dem Subtest und den vermittelten Lerninhalten des Unterrichts hin und spricht damit für einen konstruktvaliden Test.

**Tab. 44: Vergleich des erfassten Wissenszuwachses durch gesamten Subtest Wissenserwerb bzw. seine inhaltlich differenzierten Teilgruppen in der Gesamtgruppe (N = 337)**

Subtest Wissenserwerb		Gesamter Test	Vorwissen-Items	Projektbezogene Items
Itemanzahl		16	7	9
Wissenszuwachs	Median	4	1	3
	Maximum	11	6	8

Besondere Beachtung verdient die in dieser Studie erstmals verwendete Größe aktueller Lernerfolg, bei der signifikante Unterschiede zwischen den Unterrichtsgruppen nachweisbar sind (höhere Scores insgesamt in der Experimental-Gruppe bzw. vorwissenbezogen in der nicht experimentellen Labor-Gruppe als in der Schul-Gruppe, vgl. Kap. VI 2.3.2.2 u. 2.3.3.2). Sie bewertet den Wissenszuwachs in Abhängigkeit von der Höhe des tatsächlich erreichten Wissens (vgl. Kap. V 5.1). Damit stellt sich die Frage, ob es sich bei unterschiedlich hohem Lernerfolg u.U. um einen Artefakt handeln könnte, der auf der Höhe des vorhandenen Wissens bei den Schülern vor der unterrichtlichen Intervention beruht. Das vorhandene Wissen könnte die Höhe des aktuellen Wissens und damit den aktuellen Lernerfolg beeinflussen.

Diese Möglichkeit kann nur über die parametrische Kovarianzanalyse mit dem vorhandenen Wissen als Kovariate überprüft werden. Mit nichtparametrischen Verfahren – wie in der ganzen Studie eingesetzt (vgl. Kap. V 5.1) - ist keine Prüfung möglich. Die Voraussetzungen für die Kovarianzanalyse – Normalverteilung und Varianzhomogenität (Zöfel 2002, S. 209) - sind allerdings nicht gegeben: Beide Variablen, vorhandenes und aktuelles Wissen, sind nicht normalverteilt (vgl. im Detail Anh. 55, 2.), letztere ist auch nicht varianzhomogen (vgl. im Detail Anh. 65, 1.). Zöfel (2002, S. 209) schlägt für diese Bedingungen vor, das Signifikanzniveau bei der Kovarianzanalyse auf  $p = 0,01$  abzusenken, „um ein faktisches Signifikanzniveau von  $p = 0,05$  zu erreichen“. Um den möglichen Artefakt auszuschließen, wird in diesem Einzelfall auf das parametrische Verfahren zurückgegriffen. Die Analyse zeigt, dass auch unter Berücksichtigung des vorhandenen Wissens als Kovariate, deren Einfluss damit statistisch herausgerechnet wird, das aktuelle Wissen in der Experimental-Gruppe signifikant höher als in der Schul-Gruppe ist; vergleichbares gilt für die Labor-Gruppen in Bezug auf das inhaltlich differenzierte Vorwissen (vgl. im Detail Anh. 65 2. u. 3.). Damit liegt kein Artefakt vor.

Für die Beurteilung der Konstruktvalidität des **Subtests Interesse** sind die Ergebnisse der faktorenanalytischen Untersuchung zu berücksichtigen (vgl. Kap. V 4.4.2): Im Vortest wurden vier Faktoren identifiziert:

Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen, an Anwendungen der Grünen Gentechnik, an ethischen Aspekten und an Risikoaspekten der Gentechnik.

Der vierte Faktor ist als einziger bipolar und weist damit „auf ein stark divergierendes Antwortverhalten bei den entsprechenden Items hin“ (Löwe 1992, S. 29), d.h. Schüler, die sich für die Einsatzmöglichkeiten genetischer Fingerabdrücke interessieren (1. Item), zeigen ein geringes Interesse an Risiken bei der Freisetzung von gentechnisch veränderten Lebewesen (2. Item) und an der Genübertragung zwischen Nutztieren (3. Item) und v.v. Im Nachtest I und II wechselten diese Items jeweils zu dem Faktor, zu dem sie einen inhaltlichen Bezug haben, bspw. das letztgenannte Item auf den Faktor Interesse an Anwendungen der Grünen Gentechnik (vgl. im Detail Tab. 30 Kap. V 4.4.2). Die unterrichtliche Intervention bedingt somit, dass die vorherige Gemeinsamkeit des Risikoaspektes nicht mehr vorhanden ist. Dies lässt die Vermutung zu, dass u.U. bei den Items dieses Faktors gar kein Interesse erfasst wurde, obwohl die sprachliche Formulierung der Items

unverändert von Todt & Götz (1998, S. 4) übernommen wurde und in anderen Studien aus der Interessesefforschung in ähnlicher Form allgemein üblich ist (vgl. Löwe 1992, S. 26, Finke 1998, S. 60, Todt 1996, S. 28, Vogt 1998, S. 18). Anstelle des Interesses an den Risiken könnte die Einstellung zu den genannten Item-Themen die Grundlage der Schülerantworten zum ersten Messzeitpunkt gewesen sein. Dafür spricht die Bipolarität des Faktors im Vortest: Eventuell beurteilen die Schüler, die jeweils das Risiko beim genetischen Fingerabdruck gering einschätzen, das Risiko bei den beiden anderen Items als hoch und v.v. Ein formuliertes großes Interesse an der kriminalistischen Anwendung wäre somit Ausdruck einer positiven Einstellung, während das damit verknüpfte niedrige Interesse an den Risiken der Freisetzung und an der Genübertragung bei Nutztieren einer negativen Einstellung entspräche und v.v. Erst durch die unterrichtliche Intervention würde somit der Bezug zur Interessensebene hergestellt, dadurch dass den Schülern die inhaltliche Beziehung der Items klarer wurde und somit der gemeinsame Risikoaspekt des Vortests aufgegeben wurde, und zwar persistent bis zum dritten Messzeitpunkt. Als Folge davon würde in beiden Nachtests tatsächlich Interesse erfasst.

Allgemein weist auch Krapp (2001, S. 286) darauf hin, dass die „Interessenmessung (...) häufig nur Einstellungen“ erfasst. Falls der im Vortest erfasste Risiko-Faktor Einstellungen gemessen hätte, so würden diese in Übereinstimmung mit Ergebnissen aus der Einstellungsforschung stehen (vgl. auch Kap. V 4.4.1). Beispielhaft sei Keck (1998, S. 44 u. 71 f.) genannt: Er findet bei 85 % der von ihm untersuchten Oberstufenschüler für den „genetischen Fingerabdruck“ eine „positive Akzeptanz“, während die „gentechnische Behandlung von Nutztieren, um den Fleischertrag zu steigern“ bei 82 % der Probanden eine „negative Akzeptanz“ genießt. Zwischen 40 und 50 % (geschlechtsabh.) seiner Schüler sind gegen Freisetzungsversuche. Auch Brosius & Schweiger (1999, S. 49) finden eine Ablehnung von gentechnischen Verfahren in der Tierzucht in ihrer Untersuchung (Mittelwert 2,61 auf einer Skala von 1 „überhaupt nicht“ bis 5 „wünschenswert“). Hill et al. (2000, S. 81) belegen in ihrer Untersuchung, dass die Mehrzahl der Schüler, die „genetic engineering“ ablehnen, dies mit „future risks“ begründen.

Die Stabilität der drei anderen Faktoren des Subtests Interesse über die drei Messzeitpunkte spricht nach Finke (1998, S. 81) dafür, dass in diesem Bereich das Interesse konstruktvalide erfasst wurde. Auch ein „Gewöhnungseffekt“, wie ihn Löwe

(1984, S. 57) als „spezifisch(er)“ für Interessentests angibt, ist in der externen Kontrollgruppe nicht feststellbar (vgl. Kap. VI 3.2). Zusammenfassend erscheint damit die Beschränkung auf diese Faktoren auch rückblickend gerechtfertigt.

## **1.2 Gegenüberstellung der quantitativen und der qualitativen Auswertung**

Die Studie hat auch das Ziel, die „künstliche Alternative“ zwischen der Auswertung nach der klassischen Testtheorie und der klassifizierenden Auswertung nach der probabilistischen Testtheorie zu überwinden. Sie sieht die beiden analytischen Verfahren als „komplementäre, nicht als konkurrierende Theorien“ an (Rost 1996, S. 9, vgl. Kap. V 1.). Dieser Anspruch soll im Folgenden eingelöst werden, indem die gegenseitige Ergänzung der Ergebnisse des Subtests Wissenserwerb nach der quantitativen Testauswertung und der Resultate der latenten Klassenanalyse verdeutlicht wird.

Zunächst seien die Ergebnisse der externen Kontroll-Gruppe betrachtet: Die quantitative Auswertung zeigt, dass auf keiner Ebene der Auswertung ein Pretest-Effekt vorliegt (vgl. Kap. VI 2.2, 2.3.3.1 u. 2.3.3.2). Durch die latente Klassenanalyse wird zusätzlich erkennbar, dass im Einzelfall jedoch Lernvorgänge ausgelöst werden können (vgl. Kap. VI 2.3.5). Dies spricht dafür, im Design von empirischen Untersuchungen nicht auf diese Kontrolle zu verzichten, wie es in vielen Studien geschieht (vgl. z.B. Saunders & Dickinson 1976, S. 461, Füller 1992, S. 76, Dori et al. 2003, S. 774, Keselman 2003, S. 903), da u.U. sogar auf der quantitativen Ebene Effekte nachzuweisen sind (vgl. z.B. Starosta 1990, S. 321).

Die entscheidende Ergänzung zur quantitativen Analyse liefert die latente Klassenanalyse im Hinblick auf die inhaltliche Differenzierung der Testitems in vorwissen- und projektwissenbezogene Fragen (vgl. Kap. V 4.3.2.2). Die Einschätzung der unterrichtenden Lehrkräfte im Hinblick auf das Vorwissen war aufgrund ihres eigenen Unterrichts so unterschiedlich (vgl. Kap. V 4.3.1), dass allein die Schüler als Instanz zur Beurteilung genutzt werden konnten. Auf der Basis der gewonnenen Differenzierung ließen sich zum einen weitere quantitative Analysen durchführen (vgl. Kap. VI 2.1 u. 2.3.3.2), zum anderen konnten über die Klassifizierung der Schüler als Lerner, Stagnierer oder Verlerner und speziell inhaltsbezogen als unterschiedliche Lernertypen zusätzliche Ergebnisse gewonnen werden. Diese ermöglichen es, die quantitativen Befunde differenzierter zu deuten,



als Beispiel sei das signifikant höhere Vergessensmaß der Experimental-Gruppe genannt, das auf der qualitativen Ebene relativiert wird: Der Anteil an Verlernern ist nicht erhöht (vgl. Kap. VI 2.3.5).

### 1.3 Bewertung möglicher statistischer Fehlentscheidungen

Die Wahrscheinlichkeit eines  $\beta$ -Fehlers (vgl. Kap. V 5.2) lässt sich in den Fällen der vorliegenden Studie nicht berechnen, sie ist nur umso größer, je näher der berechnete p-Wert an die Signifikanzgrenze heranrückt (Zöfel 2002, S. 65). Mögliche  $\beta$ -Fehler sind daher im Einzelfall zu diskutieren. Dazu wurden alle Signifikanztests mit p-Werten zwischen 0,051 und 0,06 überprüft und bewertet (Tab. 45).

Die Analyse zeigt, dass nur im Fall der Veränderung des Faktors Interesse an ethischen Aspekten der Gentechnik vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt in der Schul-Gruppe der Teilgruppe Mädchen ein möglicher  $\beta$ -Fehler bei der Diskussion zu berücksichtigen ist (vgl. Kap. VII 2.3). In allen anderen Fällen ist die Wahrscheinlichkeit eines möglichen  $\beta$ -Fehlers bei der Interpretation der Ergebnisse als gering einzuschätzen oder ohne Bedeutung.

**Tab. 45: Einschätzungen möglicher  $\beta$ -Fehler bei Irrtumswahrscheinlichkeiten mit p-Werten zwischen 0,051 und 0,06 im jeweiligen Signifikanztest**

Überprüfte Größe im	Test	p-Wert	Einschätzung eines möglichen $\beta$ -Fehlers
Subtest Akzeptanz			
Verteilung der Kategorie „keine Angabe“ beim „besonderen Gefallen“ zwischen den Unterrichtsgruppen (NT II)	Exakter Fisher-Test	0,055	Gering: Die p-Werte der signifikant unterschiedlich verteilten Kategorien sind deutlich niedriger (0,002 bzw. < 0,001, vgl. Kap. VI 1.2.2).
Verteilung der Kategorie „fachlicher Bezug“ beim „besonderen Missfallen“ zwischen der Schul- u. der Labor-Gruppe (NT I)	Exakter Fisher-Test	0,051	Gering: Im NT II liegt der p-Wert mit 0,038 zwar nur geringfügig niedriger (vgl. Kap. VI 1.2.2), allerdings gibt es in der nicht experimentellen Labor-Gruppe im Gegensatz zur Schul-Gruppe keine Korrelation der aktuellen Akzeptanz zu den schulischen Leistungen.
Subtest Wissenserwerb			
Veränderung des Wissensbestandes zu den Vorwissen-Items vom VT zum NT II in der Gesamtgruppe	Wilcoxon-Test	0,051	Gering: Die p-Werte für die Veränderungen VT /NT I bzw. NT I/NT II sind deutlich niedriger (< 0,001, vgl. Kap. VI 2.1.1).
Unterschied im vorhandenen Wissen bei Mädchen u. Jungen	Mann-Whitney-Test	0,052	Ohne Bedeutung: weder beim Wissenszuwachs noch bei der Behaltensleistung signifikante Unterschiede (vgl. Anh. 60, 5.)

Veränderung des Wissensbestandes zu den Vorwissen-Items über alle drei Messzeitpunkte in der Schul-Gruppe	Friedman-Test	0,051	Gering: Die p-Werte für die Veränderungen in den beiden anderen Unterrichtsgruppen sind deutlich niedriger ( $< 0,001$ , vgl. Kap. VI 2.3.3.2), auch der signifikant niedrigere aktuelle Lernerfolg gegenüber der nicht experimentellen Labor-Gruppe spricht gegen einen $\beta$ -Fehler.
Subtest Interesse			
Veränderung des Interesssefaktors Interesse an Anwendungen der Grünen Gentechnik über alle drei Messzeitpunkte in der Gesamtgruppe	Friedman-Test	0,055	Gering: Die p-Werte für die Veränderungen in den beiden anderen Interesssefaktoren sind deutlich niedriger ( $0,001$ bzw. $< 0,001$ , vgl. Kap. VI 3.1.2).
Unterschied im aktuellen Interesse bei Mädchen u. Jungen	Mann-Whitney-Test	0,057	Ohne Bedeutung: keine signifikante Veränderung des Interesses bei den Jungen (vgl. Kap. VI 3.1.3).
Veränderung des Interesssefaktors Interesse an ethischen Aspekten der Gentechnik vom VT zum NT I in der Schul-Gruppe der Teilgruppe Mädchen	Wilcoxon-Test	0,053	Möglich: Vergleichswert in der Labor-Gruppe mit $p = 0,016$ nur geringfügig niedriger (vgl. Tab. 40, Kap. VI 3.2 u. unten Kap. VII 2.3)

## 2. Überprüfung der Hypothesen

Die Überprüfung erfordert eine differenzierte Betrachtung, da in den Hypothesen mit dem Lernort und dem selbsttätigen Experimentieren jeweils zwei unabhängige Variablen angesprochen sind. Durch den Vergleich der Ergebnisse der beiden nicht experimentellen Kontroll-Gruppen (der Schul- und der Labor-Gruppe) ist es möglich, den Einfluss der Variable Lernort zu überprüfen. Der Vergleich der Experimental-Gruppe mit der nicht experimentellen Labor-Gruppe zeigt den Einfluss der Experimente am gleichen Lernort auf, während der Vergleich der Experimental-Gruppe mit der Schul-Gruppe den Einfluss des Experimentierens unabhängig vom Lernort verdeutlicht. Der Einfluss von weiteren erfassten unabhängigen Variablen (vgl. Kap. IV 3.) ist jeweils mit zu diskutieren.

### 2.1 Akzeptanz

Die zentrale Hypothese (H 2, vgl. Kap. IV 2.1) zur **Akzeptanz** lautet:

Die Akzeptanz der Unterrichtsveranstaltung ist im Lernort Labor bereits ohne Experimente im Vergleich zum Lernort Schule erhöht, die selbsttätigen Experimente im Lernort Labor steigern die Akzeptanz zusätzlich.

Die Ergebnisse zur ersten Teilhypothese, der positiven Wirkung des authentischen Lernorts allein auf die Akzeptanz, sind nicht eindeutig (vgl. Kap. VI 1.2):

- In der aktuellen Akzeptanz finden sich keine signifikanten Unterschiede in der Gesamtakzeptanz, auf der Ebene der beiden Faktoren und in den inhaltlichen Bezügen. Kurzfristig – nach dem unmittelbaren Erleben des Unterrichts - hat somit der Lernort allein keinen Einfluss auf die Akzeptanz. Allerdings korrelieren nur in der Schul-Gruppe die aktuelle Akzeptanz und die vorherigen schulischen Leistungen, d.h. im Lernort Labor lassen sich – unabhängig vom selbsttätigen Experimentieren - trotz des vorhandenen Deckeneffekts speziell schlechtere Schüler besser ansprechen.
- Die affektive Bewertung und damit auch die Gesamtakzeptanz in der nicht experimentellen Labor-Gruppe sind rückblickend (NT II) signifikant niedriger als in der Schul-Gruppe. Die Schüler, die das Labor ohne Experimente kennen gelernt haben, stehen somit in der Rückschau diesem Unterricht nicht mehr so positiv gegenüber. Gleichzeitig nennen sie signifikant häufiger fachliche Bezüge wie „zu komplexer Themenbereich“ bei der Frage nach dem „besonderen Missfallen“, sie fühlen sie somit rückblickend mehr überfordert als die Schüler im Lernort Schule. Inhaltlich wirken in der Schul-Gruppe die eingesetzten Medien signifikant stärker nach, während in der nicht experimentellen Labor-Gruppe der Lehrer positiver in Erinnerung bleibt (der Unterschied zur Schul-Gruppe ist allerdings nicht signifikant, aber tendenziell erkennbar). Die Befunde könnten darauf hindeuten, dass die Schüler in der Schule in der Rückschau besonders die methodische Qualität des erlebten Unterrichts im Vergleich zum üblichen Unterricht als positiv ansehen. Für die Schüler im Lernort Labor könnten die eingesetzten Medien sozusagen zur Authentizität der Lernorts gehören, gekoppelt mit der Zuordnung einer höheren Kompetenz an die dortige Lehrperson, speziell auch im Hinblick auf die ethischen Fragen. Dafür spricht, dass nur in dieser Gruppe eine Korrelation zwischen dem Ausgangsinteresse an ethischen Aspekten der Gentechnik und der rückblickenden Akzeptanz vorliegt. Auf der anderen Seite sehen sie den Unterricht dieser Lehrperson u.U. als anspruchsvoller im Vergleich zu ihren schulischen Erfahrungen an und fühlen sich deshalb eventuell eher überfordert.

Zusammenfassend weisen die Ergebnisse darauf hin, dass der Lernort Labor auch ohne Experimente bei identischem Unterricht und mit demselben Lehrer für die Schüler eine andere Unterrichtssituation bedeutet, die vor allem rückblickend sichtbar wird, speziell im Hinblick auf die Rolle der Lehrperson. Die Ergebnisse

lassen somit weder eine vorläufige Bestätigung noch eine Verwerfung der Teilhypothese zu.

Die zweite Teilhypothese, die „zusätzliche Steigerung der Akzeptanz durch das selbsttätige Experimentieren“, lässt sich durch folgende Ergebnisse überprüfen (vgl. Kap. VI 1.2):

- Sowohl aktuell als auch rückblickend ist die Akzeptanz des auf allen betrachteten Ebenen signifikant höher als in den beiden anderen Unterrichtsgruppen, speziell der nicht experimentellen Labor-Gruppe am gleichen Lernort.
- Trotz der übereinstimmenden Lerninhalte, des identischen Medieneinsatzes und der gleichen Lehrperson wie in den nicht experimentellen Unterrichtsgruppen stellen die durchgeführten Experimente die persistierende inhaltliche Grundlage für die Akzeptanz dar. Vergleichbar damit sind die Ergebnisse von Oesterling & Toprak (2002, S. 21): In thematisch ähnlichen Veranstaltungen im „NaT working SchülerInnenlabor“ fallen bei einer einmaligen Befragung nach drei bis vier Wochen die meisten Antworten (allerdings mit ca. einem Drittel deutlich weniger als in der vorliegenden Studie) auf die Frage nach dem „besten Gefallen“ in Kategorien mit Experimentalbezug. Auch Engeln (2004, S: 130) ordnet bei ihren Probanden aus fünf Schülerlabors (vier physikalische, ein chemisches) auf diese Frage „knapp die Hälfte der Antworten“ in experimentelle Kategorien ein, findet allerdings einen Rückgang des Anteils im Nachtest II. Auf einer allgemeineren Ebene entsprechen diese Ergebnisse der Feststellung von Gardner & Gauld (1990, S. 136) in ihrem Review zu „students reactions to labwork. There is a common thread in the findings for students: many of them enjoy labwork“.
- Die Schüler der Experimental-Gruppe nennen als Antwort auf die Frage nach dem „besonderen Missfallen“ weniger häufig fachliche Bezüge (die auf Überforderung hindeuten würden) als beide nicht experimentelle Unterrichtsgruppen. Dies steht im Einklang mit Ergebnissen empirischer Untersuchungen von Schiefele (1992, S. 107) zur „Qualität des Erlebens im Unterricht“, und zwar des unmittelbaren Erlebens. „Das Erleben lässt sich (...) relativ gut aufgrund subjektiver Einschätzungen der eigenen Fähigkeiten vorhersagen“ (Schiefele 1992, S. 114). Die Selbsteinschätzung des Unterrichtserfolgs wird im Anschluss an den Unterricht affektiv bewertet, in der Rückschau dagegen unter Bezug auf das instrumentelle Handeln im Unterricht

(vgl. oben Kap. VII 1.1). Diese Selbsteinschätzung ist nur im Nachtest I in der Experimental-Gruppe signifikant höher als in den beiden - sich nicht unterscheidenden - nicht experimentellen Gruppen (Kruskal-Wallis-Test: NT I  $p = 0,014$ , NT II  $p = 0,231$ ; Mann-Withey-Tests: NT I Schul- vs. Labor-  $p = 0,817$ , Schul- vs. Experimental-  $p = 0,033$ , Labor- vs. Experimental-Gruppe  $p = 0,009$ , vgl. im Detail Anh. 66).

Zusammenfassend kann damit die Teilhypothese, dass das eigenständige Experimentieren sowohl im gleichen Lernort Labor als auch gegenüber dem unterschiedlichen Lernort Schule die Akzeptanz steigert, als bestätigt angesehen werden.

Wie in der oben genannten Studie zum „NaT working SchülerInnenlabor“ sind keine Geschlechtsunterschiede im Hinblick auf die Akzeptanz feststellbar (Oesterling & Toprak 2002, S. 19), während Engeln (2004, S. 121) in zwei der von ihr untersuchten physikalischen Schülerlabors unmittelbar im Anschluss an den Besuch eine bessere Bewertung bei Jungen findet.

## 2.2 Wissenserwerb

Die zentrale Hypothese (H 3, vgl. Kap. IV 2.2) zum **Wissenserwerb** lautet:

Der Wissenserwerb durch die Unterrichtsveranstaltung zu gentechnischen Themen ist im Lernort Labor bereits ohne Experimente im Vergleich zum Lernort Schule erhöht, durch die selbsttätigen Experimente im Lernort Labor wird er zusätzlich gesteigert.

Im Hinblick auf die beinhalteten Teilhypothesen erscheint es sinnvoll, die Ergebnisse zum Subtest Wissenserwerb zunächst zusammenfassend zu interpretieren:

- Auf der Ebene der probabilistischen Auswertung erweist sich der Unterricht in der außerschulischen Lernsituation Labor unabhängig vom selbsttätigen Experimentieren als erfolgreicher als der vergleichbare Unterricht im Lernort Schule, verdeutlicht durch den signifikant erhöhten Anteil an Lernern in den beiden nicht schulischen Gruppen (nicht experimentelle Labor- und Experimental-Gruppe, vgl. Kap. VI 2.3.5). Die unabhängige Variable des neuen Lernorts wirkt sich somit positiv aus.

- Vergleichbar damit sind die Ergebnisse zum Einfluss der vorherigen schulischen Leistungen. In der nicht experimentellen Labor-Gruppe gibt es keine und in der Experimental-Gruppe nur teilweise signifikante Korrelationen der erfassten Lernleistungen und den schriftlichen Leistungen im Leistungskurs Biologie. In der Schul-Gruppe dagegen korrelieren aktuelle, dauerhafte und insbesondere Lernleistungen mit höherem Anforderungsniveau positiv mit den schulischen Leistungen, obwohl sich die drei Unterrichtsgruppen in Bezug auf die schriftlichen Leistungen im Fach Biologie nicht signifikant unterscheiden (vgl. Kap. VI 1.2.1 u. 2.3.4). Dies spricht dafür, dass im Lernort Labor, sowohl in der nicht experimentellen Labor- als auch in der Experimental-Gruppe, also unabhängig vom selbständigen Experimentieren, andere Bedingungen für die Lernmotivation – „den Wunsch bzw. die Absicht, bestimmte Inhalte (...) zu lernen“ (Schiefele & Köller 2001, S. 304) – vorliegen: Leistungsmäßig schwächere Schüler werden z.B. besser angesprochen und zu relativ gesehen besseren Lernleistungen gebracht. Andererseits bleiben u.U. gute Schüler unter ihren Möglichkeiten. Eine mögliche Erklärung dafür liefern empirische Ergebnisse von Kempa & Diaz (1990, S. 215) zu der Beziehung zwischen den motivationalen Eigenschaften von Schülern und instruktionalen Variablen von Unterricht. Kempa & Diaz konnten vier Schüler-Typen erfassen (Tab. 46). Speziell leistungsbewusste Schüler zeigen keine positive Beziehung zum Experimentieren im Unterricht und der gewissenhafte Typ bevorzugt nur die klaren Anweisungen, nicht das Experimentieren an sich.

**Tab. 46: Motivationale Schülertypen und ihre Vorlieben bzw. Abneigungen gegenüber instruktionalen Variablen von Experimentalunterricht (veränd. nach Kempa & Diaz 1990, S. 215, ++ starke, + moderate Vorliebe, (+) positiver Trend, -- starke Abneigung, Details im Text)**

Instruktionale Variable	Motivationaler Schüler-Typ			
	Leistungsbewusst	Neugierig	Gewissenhaft	Kontaktfreudig
Entdeckendes Lernen	+	++		(+)
Einbezug von Gruppenarbeit			(+)	++
Durchführen von Experimenten		++		(+)
Genaue experimentelle Anleitungen		--	++	

- Eine in der Studie erfasste Form der Lernmotivation ist das Interesse (vgl. Wild et al. 2001, S. 220, Krapp 2002, S. 389). Vergleicht man die Interesseebene mit dem erfolgten Wissenserwerb, findet sich nur in der Schulgruppe eine signifikante Korrelation zwischen dem vorhandenen Interesse an gentechnischen Fragestellungen und dem persistenten Wissen im Nachtest II (vgl. Tab. 42, Kap. VI 4.). Die Höhe dieser „Interesse-Leistungs-Korrelation“ liegt altersbezogen knapp über dem von Krapp (1992a, S. 22) angegebenen fachunabhängigen Durchschnittswert von „ $r = ,30$ “ und steht im Einklang mit seiner Vermutung (Krapp 1998, S. 196) eines speziellen Einflusses des Interesses auf dauerhafte Lernleistungen. Im Lernort Labor (nicht experimentell und experimentell) erreichen Schüler mit geringerem Ausgangsinteresse ein relativ gesehen höheres persistentes Wissen, andererseits zeigen Schüler mit größerem Interesse im Vortest einen vergleichbar niedrigeren Wissens-Score, obwohl speziell im Vergleich Schul- vs. nicht experimentelle Labor-Gruppe kein signifikanter Unterschied im Hinblick auf das vorhandene Interesse besteht (vgl. im Detail Anh. 63, 2.1.2). Dies lässt vermuten, dass Interesse als Lernmotivation - unabhängig vom Experimentieren – anders als im üblichen Lernort Schule beeinflusst wird und sich somit auf Lernvorgänge anders auswirkt.
- Auf der Ebene der quantitativen Auswertung zeigt sich dies bei den Vorwissen-Items. Im Lernort Schule findet im Gegensatz zum Lernort Labor (nicht experimentell bzw. experimentell) kein entsprechender Wissenserwerb statt, verdeutlicht zusätzlich am entsprechenden aktuellen Lernerfolg: Er ist gegenüber der Laborsituation ohne Experimente erniedrigt, nicht jedoch gegenüber den Schülern der experimentellen Gruppe (vgl. Kap. VI 2.3.3.2). Dies weist gleichzeitig auf eine mögliche negative Beeinflussung des komplexen Lernvorgangs hin, die speziell in der Experimentalsituation auftritt.
- Nur in der Schulgruppe gibt es eine positive Korrelation zwischen der aktuellen affektiven Bewertung des Unterrichts und dem persistenten Wissen (vgl. Tab. 42, Kap. VI 4.). Im Lernort Schule erreichen Schüler mit einer positiveren Bewertung des Unterrichts im Nachtest II einen entsprechend höheren Wissens-Score. Im Lernort Labor (nicht experimentell und experimentell) bedeutet eine hohe Akzeptanz nicht unbedingt einen persistenten Lernvorgang. Trotz der signifikant höheren Akzeptanz in der Experimental-Gruppe (vgl. Kap. VI 1.2.1) vergessen

deren Schüler vom zweiten zum dritten Messzeitpunkt mehr, während im Lernort Schule das Vergessensmaß insgesamt und speziell bei den Projektwissen-Items niedriger ist und bei den Items mit Transfer-Niveau gar kein Vergessen auftritt (letzteres allerdings auf niedrigem Niveau, vgl. Kap. VI 2.3.2.1 u. 2.3.3.1). Die positive Zustimmung zum Experimentalunterricht, primär bedingt durch das „besondere Gefallen“ des eigenständigen, praktischen Arbeitens (vgl. Kap. VI 1.2.2), wirkt sich dauerhaft nicht in gleichem Maße positiv auf das Lernen aus, wie es der kurzfristige Effekt des höheren aktuellen Lernerfolgs vermuten ließe (vgl. Kap. VI 2.3.2.2 u. 2.3.3.2). Dies weist auf zweierlei hin: Zum einen erscheint die Lernmotivation in der Experimental-Situation zusätzlich gegenüber der Schul-Gruppe erhöht, zum anderen zeigt sich erneut eine mögliche negative Beeinflussung des Lernvorgangs, die speziell in dieser Situation auftritt und sich langfristig auswirkt.

- Nur in der Experimental-Gruppe existiert eine signifikante positive Korrelation zwischen dem vorhandenen Vorwissen (Vorwissen-Items im VT) und der affektiven Bewertung des Unterrichts des erlebten Experimentalunterrichts in der Rückschau (vgl. Tab. 42, Kap. VI 4). Das weist darauf hin, dass gerade in der Experimentalsituation dem bereits existierenden Wissen eine besondere Bedeutung zukommt. Dies wird durch Ergebnisse der latenten Klassenanalyse bestätigt, durch die die Schüler in entsprechend unterschiedliche Lerner-Typen klassifiziert wurden: Der Anteil der selbst experimentierenden „Projektwissen-Lerner“, also der Schüler, die bei vorhandenem Vorwissen das projektbezogene Wissen dazulernen, ist gegenüber beiden nicht experimentellen Gruppen (Schul- und nicht experimentelle Labor-Gruppe) signifikant erhöht (vgl. Kap. VI 2.3.5). Bei diesem Lern-Typ wirkt sich also der mögliche negative Einfluss geringer aus. Dieser Aspekt ist insofern bedeutend, da nach Tobias (1994, S. 39) das Vorwissen im Allgemeinen zwischen 30 bis 60 % der Varianz der kognitiven Leistungen erklärt. Auf einer allgemeineren Ebene ist damit das Ergebnis vergleichbar, dass nur in der Experimental-Gruppe eine signifikante positive Korrelation zwischen der Experimentiererfahrung im naturwissenschaftlichen Unterricht und dauerhaften Lernleistungen bzw. den Aufgaben mit der Anforderungsstufe Transfer vorliegt (vgl. Kap. VI 2.3.4). Größere Erfahrungen im Beobachten und Auswerten von Demonstrationsexperimenten könnten somit die



negative Beeinflussung des Lernvorgangs in der Situation des eigenständigen Experimentierens verringern.

Damit sprechen die bisherigen Überlegungen insgesamt für folgende, vorläufige Beurteilungen der beiden Teilhypothesen:

Im Lernort Labor ist der Wissenserwerb bereits ohne Experimentieren aufgrund einer höheren Lernmotivation in Teilbereichen erhöht. Durch das selbsttätige Experimentieren werden die Lernmotivation und damit der Wissenserwerb zusätzlich gesteigert. Allerdings treten in der Experimentalsituation auch Bedingungen auf, die einem langfristigen Vorteil entgegenstehen, sich aber bei vorhandenem Vorwissen bzw. Erfahrung mit demonstrierten Experimenten weniger stark auswirken.

Somit stellen sich zwei Fragen für die weitere Diskussion:

1. Welche Faktoren könnten die Lernmotivation im Rahmen der durchgeführten Unterrichtsveranstaltung im Lernort Schule bzw. Labor – ohne und mit Experimenten - unterschiedlich stark beeinflusst haben?
2. Worauf könnten mögliche negative Effekte auf die kognitive Leistung in der Experimental-Gruppe zurückzuführen sein.

Für die Beurteilung der **Lernmotivation** sind die Ebene des Schülers mit seinen „motivationalen Orientierungen“ oder „Motive[n] als Disposition“ (Wild et al. 2001, S. 218) und die Ebene der Lernumgebung zu unterscheiden, die diese aktivieren kann oder nicht (Schiefele & Rheinberg 1997, S. 288): „Motives always have to be stimulated by the situation“.

Auf der ersten Ebene können über die bereits oben formulierten Aussagen zum Zusammenhang zwischen dem Interesse als Lernmotivation und dem Wissenserwerb hinaus keine weiteren Schlussfolgerungen gezogen werden. Dies würde die Auswertung von weiteren motivationalen Variablen wie bspw. Selbstkonzept und Erfolgserwartung bedingen (vgl. Pekrun 1988, S. 67 ff.), die im Rahmen der Untersuchung nicht erfasst wurden.

Für die Bewertung der Lernumgebung im Hinblick auf die Wirkung des instruktionalen Designs auf die Lernmotivation steht mit dem ARCS-Modell von Keller (1987, S. 2) ein motivationspsychologisches Modell zur Verfügung, dessen Validität durch empirische Studien überprüft (vgl. z.B. Small & Gluck 1994, S. 39 f.,

Means et al. 1997, S. 5 f.), das sich spezifisch für Felduntersuchungen (vgl. Kap. V 3.) eignet (Visser & Keller 1990, S. 497) und das in fachdidaktischen Studien im Bereich der Biologie (z.B. Urhahne et al. 2003, S. 193) bzw. der Chemie (z.B. Feng & Tuan im Druck) bereits eingesetzt worden ist. Nach Keller (1987, S. 3 ff.) beeinflussen vier Faktoren im Rahmen der unterrichtlichen Umsetzung die Lernmotivation bei Schülern: Aufmerksamkeit (A „attention“), Relevanz (R „relevance“), Zuversicht (C „confidence“, „entwickelt sich, wenn Schüler sehen, dass sie Erfolg haben können“ (Urhahne & Krombass 2002, S. 17)) und Zufriedenheit (S „satisfaction“, „stellt sich ein, wenn die Erwartungen der Lernenden in Einklang mit ihren Lernergebnissen stehen“ (Urhahne & Krombass 2002, S. 17)).

Dabei gibt Keller (1987, S. 4 f.) verschiedene Strategien an, um jeweils einzelne Faktoren zu optimieren. Die Anwendung auf den hier durchgeführten und evaluierten Unterricht in den drei Unterrichtsgruppen führt zu folgenden Bewertungen:

- In allen Unterrichtsgruppen wurden motivationssteigernde Strategien umgesetzt. Beispielhaft seien genannt:
  - Aufmerksamkeit durch unerwartete und der Erfahrung widersprechende Unterrichtsbeispiele wie Alba green (Kac 2002, vgl. Kap. III 2.2);
  - Relevanz durch den inhaltlichen Bezug auf das Vorwissen (vgl. Kap. III 2.1) und die unterrichtlichen Hinweise im Hinblick auf das zu erwartende Zentralabitur;
  - Zuversicht durch klare Zielangaben im Unterricht (vgl. Anh. 17, Folie 4) und
  - Zufriedenheit beim Beantworten von problemorientierten Fragestellungen im Unterricht.
- In der nicht experimentellen Labor-Gruppe sollten darüber hinaus folgende Faktoren für eine erhöhte Lernmotivation verantwortlich sein:
  - höhere Aufmerksamkeit durch den neuen und im Vergleich zur Schule authentischeren Lernort Labor;
  - höhere Relevanz durch den Einblick in das möglicherweise geplante Studenumfeld Universität und
  - vermehrte Zuversicht durch die der Lehrperson zugeschriebene höhere Kompetenz (vgl. oben Kap. VII 2.1).
- Eine zusätzliche Steigerung in der Experimental-Gruppe könnte auf diesen Faktoren beruhen:

- erhöhte Aufmerksamkeit durch die hohe Authentizität der Experimente auf ihren verschiedenen Ebenen (vgl. Kap. II 2.2 u. III 1.5) sowie durch Wechsel zwischen Lehrer-Schüler-Interaktionen in den nicht experimentellen und Schüler-Schüler-Interaktionen in den experimentellen Phasen des Unterrichts;
- erhöhte Relevanz durch die Möglichkeit zu eigenverantwortlichem Arbeiten und Handeln innerhalb einer Arbeitsgruppe;
- erhöhte Zuversicht durch die Möglichkeit, „[to] learn new skills under low risk conditions“ (Keller 1987, S. 5), bedingt durch die unterrichtliche Situation im Lernort Labor, und durch Hinweise auf den Zusammenhang zwischen der „Güte“ des eigenen Arbeitens und dem Erfolg des Experimentierens;
- erhöhte Zufriedenheit durch eine erfolgreiche Prelab-Phase und im Anschluss daran die Möglichkeit, „to use a newly acquired skill in a realistic setting“ (Keller 1987, S. 5), also durch die Durchführung der authentischen Experimente bis hin zum Sichtbarwerden der eigenen Ergebnisse; dies ist verknüpft mit der Bestätigung der vorherigen Hypothesen.

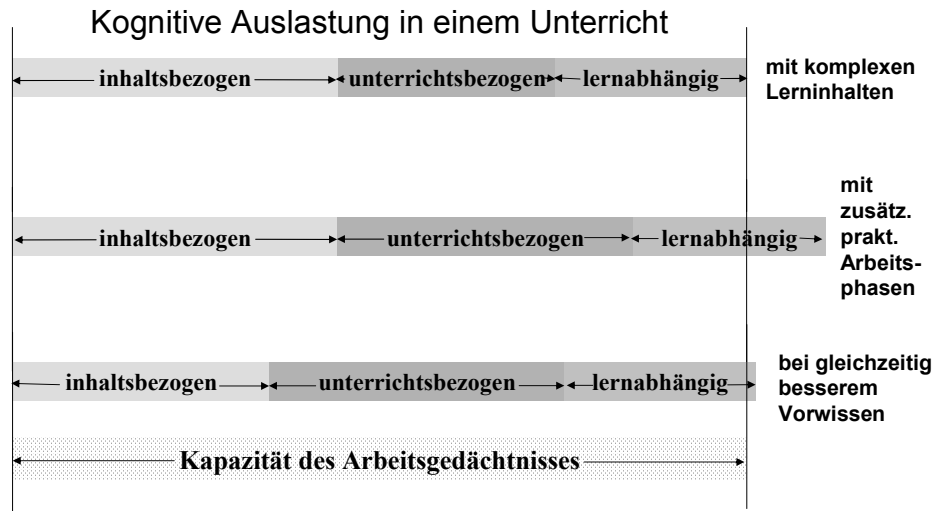
Auf der motivationalen Ebene der Lernumgebung sind somit nur Vorteile für den Unterricht im Lernort Labor erkennbar, speziell im Hinblick auf das selbsttätige Experimentieren, die für eine mögliche Aktivierung von Lernmotivation sprechen.

Im Hinblick auf die **kognitiven Leistungen** bestätigen die Ergebnisse zunächst das uneinheitliche Bild bisheriger Untersuchungen durch Unterricht mit Schülerexperimenten im Vergleich zu nicht experimentellem Unterricht (vgl. Kap. II 1.4.2). Messbare Vorteile in der Experimental-Gruppe wie der höhere aktuelle Lernerfolg sind mit festgestellten Nachteilen bspw. dem höheren Vergessensmaß im Vergleich zur Schul-Gruppe gekoppelt (vgl. oben). Ein entscheidender Aspekt für „shortcomings of practical work“ ist nach Harlen (1999, S. 10 f.) die Komplexität der Aufgaben, die Schüler beim selbsttätigen Experimentieren erfüllen müssen; dies gilt speziell für die hier eingesetzten Experimente im Lernort Labor: „reading instructions“ für vorher unbekannte Experimente, „manipulating equipment“, das nach der Prelab-Phase selbsttätig eingesetzt wird, „making measurements“ mit den neuen Geräten und „negotiating with members of a group“, also Kommunikation innerhalb der einzelnen Arbeitsgruppe. In Bereich der Chemiedidaktik stellten schon in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts Johnstone & Wham (1982, S. 71 f.) den Zusammenhang zum Gedächtnis her und vermuteten, „that learning is severely

hampered in a high information situation in which the working memory (of finite capacity) is overloaded with incoming data“. Als Beispiele dafür gaben sie zusätzlich an: „new verbal instructions“, die im Lernort Labor wegen der gewünschten Selbsttätigkeit nur bei Rückfragen der Schüler gegeben wurden, „recall of background theory“, also die Aktualisierung des Vorwissens, und „input from the experiment itself“, bspw. Beobachtungen beim Experimentieren. In Folge postulierten Johnstone & Letton (1990, S. 9 ff.) bezogen auf ihre qualitativen Untersuchungen an Lerntagebüchern („diary of (...) experiences“) das Auftreten von „psychological load“ im Sinne von „psychologischer Belastung“ und unterschieden dabei zwischen „cumulative“ und „instantaneous overload“. Unter ersterem verstehen sie eine zunehmende Verwirrung der Schüler beim Experimentieren, unter letzterer die jeweils momentane Überlastung der Schüler. Etwa zeitgleich wies Nowak (1988, S. 85 ff.) allgemein - unabhängig vom Experimentieren - auf der inhaltlichen Ebene des naturwissenschaftlichen Unterrichts auf das Problem der begrenzten Kapazität des Arbeits- oder Kurzzeitgedächtnisses hin und forderte, dass „a complex idea (...) should be broken down into segments, each of which can be processed for meaning“. Beiden Ansätzen fehlte es jedoch an einer theoretischen Grundlage, wie sie die Cognitive-Load-Theorie (CLT) bietet (vgl. Kap. II, 3.2.4). Die CLT lässt sich nach van Merriënboer et al. (2003, S. 5) speziell bei „authentic learning tasks“ anwenden. Sie soll im Folgenden - m.W. nach erstmalig in einer Feldstudie - auf das Lernen im Experimentalunterricht angewandt werden. Dazu werden zwei der von Sweller et al. (1998, S. 259) unterschiedenen Arten von „cognitive load“, nämlich die inhalts- und die unterrichtsbezogene Auslastung (vgl. Kap. II, 3.2.4) mit den Ergebnissen zum Wissenserwerb in Beziehung gesetzt.

- Inhaltsbezogene Auslastung („intrinsic load“):

Sie wird durch die Komplexität der vermittelten Lerninhalte bestimmt und ihre Höhe wird durch vorhandene Vorwissen beeinflusst (vgl. Paas et al. 2003, S. 65). Im erlebten Unterricht sollte sie relativ hoch sein (vgl. Abb. 65 oben). Darauf deutet die Antwortkategorie „fachlicher Bezug“ zur Frage nach dem „besonderen Missfallen“ hin, die in allen Unterrichtsgruppen genannt wird und über die Schüler – unabhängig von den festgestellten Unterschieden - eine mögliche Überforderung durch die Lerninhalte andeuten (vgl. Kap. VI 1.2.2).



**Abb. 65: Mögliche Veränderungen der kognitiven Auslastung des Arbeitsgedächtnisses in der Experimentalsituation:**

Bei einem Unterricht mit komplexen Lerninhalten zu zentralen Aspekten der Gentechnik ist eine relativ hohe inhaltsbezogene Auslastung anzunehmen, die praktischen Arbeitsphasen könnten die unterrichtsbezogene Auslastung erhöhen; andererseits könnte durch ein besseres Vorwissen die inhaltsbezogene Auslastung verringert werden (die dargestellten Balkenlängen sollen mögliche relative Beziehungen verdeutlichen; weitere Details im Text)

- Unterrichtsbezogene Auslastung („extraneous load“):

Sie wird durch die Art der Darstellung und der Vermittlung der Lerninhalte in der unterrichtlichen Umsetzung bedingt. In der Experimentalsituation könnte durch die oben genannten, zusätzlichen Anforderungen an die Schüler wie das Lesen von Arbeitsanleitungen etc. diese Belastung gesteigert werden, so dass bei einzelnen Schülern die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses überschritten wird (vgl. Abb. 65 Mi.) und somit für die lernabhängige Auslastung nicht mehr genügend Kapazität zur Verfügung stände. Die festgestellten negativen Auswirkungen in der Experimental-Gruppe wie das höhere Vergessensmaß bzw. die fehlende Persistenz des höheren aktuellen Lernerfolgs ließen sich so deuten. Nach Paas et al. (2003, S. 66) ist „task performance“ ein Ausdruck von kognitiver Auslastung. Ein höheres Vorwissen sollte andererseits die inhaltsbezogene Auslastung absinken lassen (vgl. Abb. 65 unten) und somit dem Effekt der erhöhten unterrichtlichen Auslastung durch die Experimentalsituation entgegenwirken; so lässt sich der höhere Anteil der „Projektwissenler“ mit vorhandenem Vorwissen in der Experimental-Gruppe interpretieren. Ähnlich könnte sich die unterrichtliche Erfahrung mit Experimenten auswirken, die nur in der Experimentalsituation einen positiven Effekt auf die Lernleistungen zeigt. In einer empirischen Laborstudie mit Handelsschülern vergleichbaren Alters zum Aufbau eines elektrischen Sicherheitstests fanden Pollock et al. (2002, S. 83), dass Maßnahmen zur

Verringerung der unterrichtlichen Belastung sich nur bei geringem Vorwissen („novice students“) positiv auswirkten, bei hohem Vorwissen brachten die Maßnahmen keinen Nutzen.

Über die Cognitive-Load-Theorie wird letztendlich auch die nur in der Experimental-Gruppe vorliegende, signifikante positive Korrelation zwischen der Höhe des persistenten Wissens zu den projektbezogenen Items und der rückblickenden affektiven Bewertung des Unterrichts (vgl. Tab. 42, Kap. VI 4.) interpretierbar. Der festgestellte Zusammenhang könnte ein Hinweis auf die im Vergleich zu nicht experimentellen Gruppen erhöhte Belastung sein, die sich individuell über die Höhe der affektiven Beurteilung äußerte: Sie wäre umso größer, je geringer das persistent erworbene Wissen ist.

Damit erweist sich die Cognitive Load Theorie als geeignet, die gewonnenen Ergebnisse zum Wissenserwerb zu interpretieren.

### **2.3 Interesse**

Das erfasste Gesamtinteresse an gentechnischen Fragen ist hoch (vgl. Kap. VI 3.1); dies entspricht bisherigen Untersuchungen (vgl. Keck 1998, S. 27 u. Kap. II 3.3.2). Das große Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen und das deutlich geringere Interesse an Anwendungen der Grünen Gentechnik findet sich vergleichbar in den Ergebnissen von Todt & Götz (1998). Lediglich das angegebene Interesse an ethischen Aspekten der Gentechnik wird in deren Studie höher angegeben.

Die zentrale Hypothese (H 4, vgl. Kap. IV 2.3), bezogen auf das Konstrukt **Interesse**, lautet:

Das Interesse an gentechnischen Fragen wird durch den Lernort einer Unterrichtsveranstaltung ohne Experimente (Schule vs. Labor) nicht beeinflusst. Im Lernort Labor mit eigenständigem Experimentieren wird das Interesse im Vergleich zu einem nicht experimentellen Unterricht erhöht.

Auch im Hinblick auf die hier genannten Teilhypothesen erscheint es sinnvoll, die Ergebnisse zum Subtest Interesse vorerst zusammenfassend zu interpretieren:

Zunächst ist ein wesentlicher Einfluss des Geschlechts zu diskutieren. Das höhere Ausgangsinteresse der Mädchen bei den Faktoren Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen und an ethischen Aspekten der Gentechnik (vgl. Kap. VI 3.1.3) entspricht den – allerdings auf Einzelitem-Analyse beruhenden - Ergebnissen von Todt & Götz (1998, S. 6 f.), der ein größeres Interesse an „ich-bezogenen“, also humanbezogenen Anwendungen und an „ethischen Aspekten“ identifiziert. Für das vergleichbare Interesse an Anwendungen der Grünen Gentechnik findet sich bei Todt & Götz (1998, S. 6) bei Jungen ein höheres Interesse an gentechnischer Veränderung bei Pflanzen im Hinblick auf die Eiweißproduktion. Allgemein weisen die Metaanalyse deutscher Studien von Finke (1998, S. 19. ff) und seine eigenen Untersuchungsergebnisse (1998, S. 139) sowie die internationale Metaanalyse von Weinburgh (1995, S. 394 f.) themen- und altersabhängig auf höhere Biologie-Interessen bei Schülerinnen hin.

In Abhängigkeit von unterschiedlichen Probandengruppen gibt es Bereiche des Interesses, für die keine Veränderungen nachweisbar sind, d.h. es ist durch die Unterrichtsveranstaltung - unabhängig von weiteren Variablen - nicht gelungen, vorhandenes individuelles Interesse zu vergrößern bzw. situationales Interesse zu erzeugen (Tab. 47).

**Tab. 47: Vergleich der Interessen-Bereiche zu gentechnischen Fragen im Hinblick auf signifikante oder fehlende Veränderungen in unterschiedlichen Probandengruppen (+ signifikante, - keine Veränderung, n.ü. nicht überprüft; vgl. Kap. VI 3.1.2, 3.1.3 u. 3.3.1)**

Probandengruppen	Interesse			
	gesamt	an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen	an Anwendungen der Grünen Gentechnik	an ethischen Aspekten der Gentechnik
Gesamtgruppe	+	+	-	+
Teilgruppe Jungen	-	-	n.ü.	-
Unterrichtgruppen der Teilgruppe Mädchen	+	-	n.ü.	+

Dies bezieht sich zunächst auf das das Interesse an Anwendungen der Grünen Gentechnik in der Gesamtgruppe. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass diese im Unterricht nicht speziell thematisiert wurden. Auch Löwe (1992, S. 81 u. 86) findet in seiner Interventionsstudie „in Teilgebieten (...), welche keinen Bezug zum Unterricht (...) erkennen lassen“ keine signifikante Änderung des Interesses in der „Gesamtstichprobe“. Für den Bereich Anwendungen der Gentechnik beim Menschen ist der entsprechende Bezug über die ethische Reflektionsphase gegeben (vgl. Kap.

III 1.3 u. 1.4.2), trotzdem ändert sich das Interesse bei den Jungen gar nicht, und bei den Mädchen sind die festgestellten Änderungen so gering, dass sie zwischen allen drei Unterrichtsgruppen nicht statistisch bedeutsam sind. Dies könnte mit dem vorliegenden Deckeneffekt zusammenhängen (vgl. Abb. 57, Kap. VI 3.1.2): Die epistemische Tendenz zur Erweiterung des Wissens (Prenzel & Krapp 1992, S. 4) bleibt auf sehr hohem Niveau erhalten. In der Teilgruppe der Jungen finden sich auch für den dritten Faktor, Interesse an ethischen Aspekten der Gentechnik, - und somit für das Interesse insgesamt - keine Veränderungen, obwohl hierfür das Ausgangsinteresse deutlich geringer ist und ethische Fragen im Zentrum der Reflektionsphase am Ende des Unterrichts standen. Der Wunsch nach weiteren Informationen ist somit weder gefördert noch verringert worden. Warum die unterrichtliche Umsetzung speziell bei Jungen keinen Einfluss zeigte, lässt sich nicht weiter erklären. Allerdings „bedeutet“ dieses quantitative Ergebnis „nicht notwendigerweise“ dass die Intervention bei den Schülern keine Wirkung gezeigt hat; „es ist sehr wohl möglich, dass die Wirkung bei einzelnen Gruppenmitgliedern (...) entgegengesetzt“ war (Diehl & Arbinger 2001, S. 20) und sich damit aufhebt; dies gilt auch entsprechend für alle vergleichbaren Ergebnisse. Die weiteren Analysen auf Gruppenebene beziehen somit ausschließlich auf signifikante Veränderungen im Interesse bei der Teilgruppe der Mädchen.

Die Interpretation muss hierbei zwei unterschiedliche Ebenen miteinander in Beziehung bringen, nämlich die Ebene der quantitativen Analyse einzelner Variablen und die der Korrelationsanalyse zwischen unterschiedlichen Variablen (vgl. Anh. 67).

Auf der ersten Ebene ändert sich das Gesamtinteresse in beiden nicht experimentellen Gruppen nicht (vgl. Kap. 3.2). Im Gegensatz zu den obigen Ergebnissen lässt nun die zweite Analyseebene der Korrelationen weitergehende Interpretationen zu. Die nur in diesen beiden Gruppen auftretenden signifikanten positiven Korrelationen zwischen dem vorhandenen Interesse an gentechnischen Fragen vor der Intervention und der rückblickenden affektiven Bewertung danach (vgl. Tab. 43, Kap. VI 4) sprechen dafür, dass die Art des Unterrichts die Erwartungen der Schüler im Hinblick auf ihr ursprüngliches Interesse erfüllt hat. Die Bewertung des Unterrichts stellt eine subjektive Einschätzung der Schüler dar und ermöglicht so eine individuellere Interpretation. Eine weitergehende Schlussfolgerung erlaubt der nur in der Schul-Gruppe feststellbare negative Zusammenhang der Differenz aus



persistentem und Ausgangsinteresse mit der rückblickenden Gesamtakzeptanz (vgl. Tab. 43, Kap. VI 4): Die Abnahme des Interesses ist mit einer Zustimmung zum Unterricht in der Rückschau korreliert. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Schüler im Lernort Schule anders als im außerschulischen Lernort Labor ihr Interesse insgesamt durch den Unterricht rückblickend zusätzlich als „befriedigt“ ansehen, obwohl sich das Interesse auf der quantitativen Ebene nicht verändert. Für eine Zurückweisung der ersten Teilhypothese, das Interesse an gentechnischen Fragen wird durch den Lernort einer Unterrichtsveranstaltung ohne Experimente (Schule vs. Labor) nicht beeinflusst, erscheint dieser Unterschied allerdings nicht ausreichend. Damit kann diese Teilhypothese zunächst als vorläufig bestätigt gelten. Dafür spricht auch, dass beide nicht experimentellen Gruppen – unter Berücksichtigung des oben erwähnten möglichen  $\beta$ -Fehlers (Kap. VII 1.3) – als weitere Gemeinsamkeit die Zunahme des Interesses an ethischen Aspekten der Gentechnik zeigen (vgl. Kap. VI 3.3.1). Die ethische Reflektionsphase hat zumindest kurzfristig zu einer gesteigerten epistemischen Interessenkomponente an Fragen der Ethik geführt.

Im Gegensatz dazu ändert sich dieser Interessenfaktor in der Experimental-Gruppe nicht; das entsprechende Interesse bleibt auf gleichem Niveau, während das Interesse insgesamt im Vergleich zu den nicht experimentellen Gruppen kurz- und langfristig absinkt. Dieses Absinken lässt sich auf zwei unterschiedliche Arten deuten:

- Das Bedürfnis nach mehr Information zu gentechnischen Fragen könnte über die Erfahrung des authentischen Experimentierens in diesem Bereich stärker als ohne Experimente „befriedigt“ worden sein. Allerdings wirkt sich dies auf der Korrelationsebene nicht aus. Auch Engeln (2004, S. 114 f.) findet in ihrer Studie in den Schülerlaboren eine langfristige Abnahme der epistemischen Interessenkomponente für die von den Schülern durchgeführten Experimente. Aufgrund der fehlenden Werte für ein Ausgangsinteresse lässt sich aus ihren Ergebnissen über kurzfristige Wirkungen bzw. über eine Gesamtveränderung nichts aussagen. Füller (1992, S. 151 ff.) beschreibt kurzfristige Interessenverluste für den Experimentalunterricht in der Schule. Randler & Bogner (eingereicht) vermuten als Ursache für die in ihrer Interventionsstudie zum Ökosystem See festgestellte Interessenabnahme, das Interesse der Schüler

„may have been satisfied“ und sehen dies auch allgemein als mögliche Erklärung „for the decline of interest in other studies“ an.

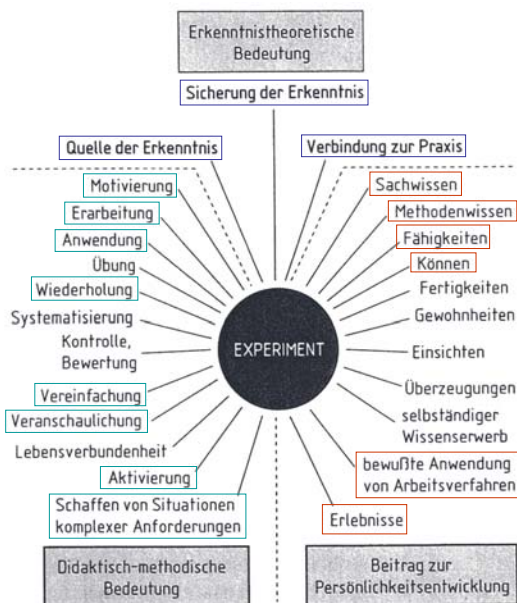
- Die Abnahme des Interesses könnte aber auch darauf zurückzuführen sein, dass die Erwartungen der Schüler an die Experimente und die Realität der Durchführung nicht kongruent waren: Auf der methodischen Ebene könnten die Experimente „leichter“ oder nur „anders“ als vermutet gewesen sein. Diese Erfahrung könnte sich auf der inhaltlichen Ebene des Interesses im Sinne einer „Entzauberung“ des Themas auswirken. Vergleichbar damit weisen Bögeholz & Bittner (2004, S. 80) darauf hin, dass in ihrer Studie zur Interesseförderung durch Schülerlabore Variablen zur „experience of ‚real‘ scientific research“ kein Prädiktor für ein Interesse an Forschung in Biologie sind. Die von Löwe (1992, S. 87) angeführten „negative[n] unterrichtliche[n] Erfahrungen“ aufgrund von „Mißerfolge[n] mit fachspezifischen Arbeitsweisen wie (...) Experimentieren“ als Ursache für Interessenabnahmen erscheinen unter Berücksichtigung der hohen Akzeptanz des Experimentalunterrichts wenig wahrscheinlich.

Zusammenfassend lässt sich die zweite Teilhypothese, „im Lernort Labor mit eigenständigem Experimentieren wird das Interesse an Fragen der Gentechnik im Vergleich zu einem nicht experimentellen Unterricht erhöht“, zunächst nicht bestätigen. Feststellbar ist, dass sich bei Mädchen die Experimentalsituation auf das Interesse anders auswirkt als ein vergleichbarer nicht experimenteller Unterricht. Für eine endgültige Beurteilung scheint allerdings die Beschränkung auf die epistemische Komponente wie in der vorliegenden Studie nicht ausreichend. Sinnvoll wäre in Folgeuntersuchungen auch die Erfassung der „emotionalen“ und der „wertbezogenen Komponente“ des Interesses (Engeln 2004, S. 64, vgl. unten Kap. VII 4.).

### **3. Experimentalunterricht im Lernort Labor**

Die bisher diskutierten Ergebnisse verdeutlichen insgesamt, dass sich das Experimentieren im Lernort Labor auf Akzeptanz, Wissenserwerb und Interesse auswirkt. Trotzdem können die drei Subtests nur einen Ausschnitt der möglichen Einflüsse dieser fachgemäßen Arbeitsweise im außerschulischen Lernort erfassen. Betrachtet man die unterschiedlichen Bedeutungen, die Klautke (1997, S. 327) unter Bezug auf Wilke (1995) dem Experimentieren im Biologieunterricht zuerkennt (Abb.

66), so lassen sich im Hinblick auf den Experimentalunterricht im authentischen Lernort Labor folgende Überlegungen anstellen:



**Abb. 66: Mögliche im Lernort Labor verwirklichte Bedeutungen des Experimentierens (durch Rahmung markiert, teilweise die über die empirischen Ergebnisse hinausgehend, veränd. nach Klautke 1997, S. 327).**

- Erkenntnistheoretische Bedeutung:  
Die hier durchgeführten Experimente verdeutlichen alle drei Aspekte dieses Bedeutungsfeldes. Die Ergebnisse bestätigen die Hypothesen der Schüler und stellen damit sowohl die Grundlage als auch die Sicherung ihrer Erkenntnis dar. Gleichzeitig verbinden die ausgewählten Experimente zu gentechnischen Fragestellungen aufgrund ihrer Authentizität das Handeln der Schüler mit der Praxis in der biologischen Forschung. Die Schüler erfassen das Experimentieren als Quelle des Erkennens und verdeutlichen sich gleichzeitig den Weg der empirischen (Natur-) Wissenschaften zur Erkenntnis (vgl. Klautke 1997, S. 324).
- Didaktisch-methodische Bedeutung:  
Die Experimente im Lernort Labor schaffen eine Situation mit komplexen Anforderungen an die Schüler, die sich auf den Lernerfolg auswirken. Sie beeinflussen die Lernmotivation und aktivieren gerade auch weniger interessierte Schüler (vgl. oben Kap. VII 2.2). Ihre Ergebnisse dienen der Erarbeitung neuer Lerninhalte im Rahmen des problemorientierten Unterrichts, gekoppelt mit dem Bestätigen und/oder Widerlegen von formulierten Hypothesen, wie bspw. zur Bedeutung einzelner Vorgänge bei der Transformation. Bereits erworbenes

Wissen wird angewandt und wiederholt, z.B. in Bezug auf die Restriktionsenzyme. Komplexe Vorgänge wie die Teilschritte der DNA-Isolierung werden vereinfacht und zugleich veranschaulicht.

- Beitrag zur Persönlichkeitsentwicklung:

Die Schüler erwerben Sach- und Methodenwissen in Hinblick auf zentrale molekularbiologische Aspekte der Gentechnik, auch wenn letzteres empirisch über den Subtest Wissenserwerb nicht erfasst wird. Zumindest an den gezeigten psychomotorischen Fähigkeiten beim selbsttätigen Experimentieren wird ihr Können sichtbar, wie auch zusätzlich erstellte Videoaufnahmen dokumentieren. Sie wenden zentrale Arbeitsverfahren wie die Agarose-Gelelektrophorese bewusst an. Letztendlich zeigt die hohe Akzeptanz, dass sich die Erlebnisse im authentischen Lernort auch auf der affektiven Ebene auswirken.

Zusammenfassend lässt sich mit Euler (2001, S. 28) feststellen: „Die Bedeutung des Experimentierens geht weit über die reine Wissensvermittlung hinaus“; dies gilt insbesondere im Lernort Labor.

Im Hinblick auf **Schlussfolgerungen für den Unterricht** im Lernort Schule hat die Untersuchung zunächst bestätigt, dass der Anteil an Schülerexperimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht noch immer sehr gering ist (vgl. Kap. VI 2.1.2), so gering, dass sich die entsprechenden Erfahrungen einzelner Schüler nicht beim Wissenserwerb auswirken. Die derzeitige schulische Realität scheint kaum Experimente zu ermöglichen (vgl. Kap. II 1.4.1). Die Schlussfolgerung kann daher nur sein, die Rahmenbedingungen so zu verändern, dass die Gründe, die Gymnasiallehrer als Hemmnisse für Schülerexperimente angeben, z.B. zu große Klassen oder Zeitdruck (Meyer 1987, S. 25, vgl. auch Oesterling & Toprak 2002, S. 23), sich nicht mehr auswirken können.

Ausgehend vom Ergebnis, dass sich unterrichtliche Erfahrungen mit Demonstrationsexperimenten positiv beim Unterricht mit selbsttätigem Experimentieren auswirken (vgl. Kap. VI 2.3.4) erhebt sich die Forderung, wenn schon Schülerexperimente aus unterschiedlichsten Gründen nicht durchführbar sind, wenigstens nicht auf Lehrerdemonstrationen zu verzichten, und zwar im Sinne eines hypothesengeleiteten Vorgehens (hypothetisch-deduktives Verfahren bzw. exakte Induktion (vgl. Klautke 1997, S. 324)).

Die Untersuchung weist auf die zentrale Bedeutung des Vorwissens beim Wissenserwerb in der Experimentalsituation hin (vgl. oben Kap. VII 2.2). Dies bedingt die Forderung, dass Besuche in einem Lernort Labor in unterrichtliche Zusammenhänge gestellt werden sollten, und zwar auf zwei Ebenen:

- Vorbereitung im schulischen Unterricht:

Engeln (2004, S. 128) stellt dazu als Ergebnis ihrer Studie fest, dass „der Besuch eines Schülerlabors (...) in der Regel im Unterricht weder ausführlich vor- noch nachbereitet“ wird. Dies bedingt, die Lehrer in die Arbeit der Schülerlabore mit einzubeziehen und in entsprechenden Fortbildungsmaßnahmen über die Angebote zu informieren. Die Lehrkräfte könnten dann ihren Unterricht gezielter im Hinblick auf einen Besuch im Lernort Labor planen und einen solchen Besuchstag als Unterrichtsveranstaltung in einen didaktischen Rahmen stellen. Dies wird begleitend zur vorliegenden Untersuchung durch entsprechende Lehrerfortbildungen im Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik schon verwirklicht.

- Durchführung der Experimente in einer unterrichtlichen Situation im Lernort Labor:

Um einen größeren Wissenserwerb zu ermöglichen, erscheint es weiterhin wesentlich, im Lernort Labor das notwendige Vorwissen für das Verständnis der durchgeführten Experimente zu aktualisieren. Dies bedingt einen unterrichtlichen Rahmen, in dem Experimente unter Bezug auf das Vorwissen hypotesengeleitet eingesetzt werden. Veranstaltungen ohne entsprechenden unterrichtlichen Charakter erscheinen wenig sinnvoll.

#### **4. Ausblick auf mögliche Folgeuntersuchungen**

Die Ergebnisse der Studie lenken den Blick auf mögliche Folgeuntersuchungen.

In der vorliegenden Studie hat nur eine einmalige Intervention stattgefunden. Damit stellt sich die Frage nach den Effekten eines Experimentalunterrichts, der auf mehrmalige Besuche ausgerichtet ist. Wiederholte Besuche könnten eine gewisse Experimentierfähigkeit anbahnen und somit die Schüler im Sinne der Cognitive-Load-Theorie entlasten. Dies könnte zu einem Einfluss auf den Lernerfolg führen, da die Schüler sich mehr mit den zugrunde liegenden Problemstellungen der Experimente befassen könnten.

Eine offene Forschungsfrage zum Experimentalunterricht ist nach Hofstein & Lunetta (2004, S. 38) „what is really happening when students engage in laboratory activities“. Dies gilt speziell im Hinblick auf molekularbiologisches Arbeiten von Schülern. Gerade dieses Experimentieren ist ein komplexes Zusammenspiel verschiedener Tätigkeiten, über deren genaue Beziehungen bisher nichts bekannt ist. Eine derartige Analyse ist jedoch eine notwendige Voraussetzung, um den Zusammenhang zwischen dem Lernangebot Experiment im Lernort Labor und den darauf bezogenen Schülerhandlungen bzw. deren Lernergebnissen aufzuklären (vgl. v. Aufschnaiter & Welzel 2001, S. 8). Eine Bearbeitung diese Forschungsdefizits würde es somit erfordern, Schüler beim Arbeiten im Labor zu videographieren. Dazu könnten Erfahrungen aus vorliegenden Studien der Physikdidaktik berücksichtigt werden (vgl. z.B. Niedererer et al. 2002). Erste Ansätze dazu sind begleitend zur vorliegenden Untersuchung bereits durchgeführt worden.

Solche Forschungsergebnisse würden eventuell genauere Hinweise auf die mögliche kognitive Auslastung der Schüler beim Experimentieren liefern. In einer Folgeuntersuchung könnte auch versucht werden, die Auslastung direkt zu erfassen. Dafür existieren bereits valide und reliable Messinstrumente (vgl. zur Übersicht Paas et al. 2003, S. 66), deren Anwendbarkeit im Zusammenhang mit Experimentalunterricht zu überprüfen wäre. Des Weiteren könnte über entsprechende Kontrollgruppen-Designs getestet werden, ob es gelingt durch instruktionale Änderungen die kognitive Belastung und damit das Lernergebnis zu beeinflussen.

Auf der Ebene des Interesses wäre es sinnvoll, neben der epistemischen auch die emotionale und wertbezogene Komponente des Interesses zu erfassen. Hierbei könnte auf die Studie von Engeln (2004) zurückgegriffen werden, um die Anwendbarkeit ihrer Skalen auf den Unterricht zu zentralen Aspekten der Gentechnik erproben.

Auf der Akzeptanzebene erscheint es sinnvoll, mögliche Beziehungen zur Motivation genauer zu untersuchen, speziell zum Selbstkonzept der Schüler im Hinblick auf ihre eigene Leistungseinschätzung (vgl. Deci & Ryan 1993), die in der vorliegenden Studie nur als Einzelitem erfasst worden ist.

## VIII. Zusammenfassung

1. Basierend auf theoretischen Überlegungen im Rahmen der entwicklungsorientierten Evaluationsforschung wurde für den außerschulischen Lernort Labor ein Experimentalunterricht zu zentralen Aspekten und Methoden der Gentechnik mit folgenden Schülerexperimenten entwickelt und im Rahmen von Projekttagen eingesetzt:

- Bakterien-Transformation mit einem rekombinierten, GFP-codierenden Plasmid,
- Isolierung der Plasmid-DNA aus den transformierten Bakterien,
- Charakterisierung der Plasmid-DNA mit ausgewählten Restriktionsenzymen,
- Visualisierung der DNA-Proben über eine Agarose-Gelelektrophorese.

Die Experimente zeigten ein hohes Maß an Authentizität und waren mit einer Reflektionsphase zu ethischen Aspekten der Gentherapie verknüpft.

2. In einem Kontrollgruppen-Design wurden die Wirkungen der unabhängigen Variablen Lernort (Schule vs. Labor) und selbsttätiges Experimentieren (Lernort Labor ohne bzw. mit Experimenten) auf die Konstrukte Akzeptanz, Wissenserwerb und Interesse an gentechnischen Fragestellungen überprüft. Mögliche Testeffekte wurden über eine externe Kontroll-Gruppe ohne Intervention kontrolliert. An der Studie waren insgesamt 363 Gymnasiasten (12. Jahrgangsstufe) aus 29 Biologie-Leistungskursen beteiligt. Als Erhebungsinstrument wurde ein informeller Test entwickelt und über eine Voruntersuchung an 172 Schülern aus 12 Kursen optimiert.

3. Das Erhebungsinstrument wurde in einem Prä-Posttest-Design mit Follow-up-Test eingesetzt. Aus den Testdaten wurden Kennwerte zur Akzeptanz, dem Wissenserwerb und dem Interesse berechnet und nach der quantitativen Testtheorie bzw. in Bezug auf den Wissenserwerb zusätzlich über die latente Klassenanalyse im Hinblick auf Unterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen ausgewertet.

4. Die beiden unabhängigen Variablen (Lernort, Experimentieren) zeigten folgende Einflüsse auf die drei erfassten Konstrukte:

4.1 Die aktuelle und die rückblickende **Akzeptanz** des Experimentalunterrichts im Lernort Labor waren insgesamt sowie auf der Ebene der beiden identifizierten Faktoren „Affektive Bewertung“ und „Bewertung des instrumentellen Handelns“ signifikant höher als die eines vergleichbaren nicht experimentellen Unterrichts, unabhängig von dessen Lernort. Inhaltlich gründete sich diese Akzeptanz primär auf

die durchgeführten Experimente, während in den nicht experimentellen Gruppen fachliche, methodische und lehrerbezogene Aspekte entscheidend waren. In der Laborsituation, unabhängig vom Experimentieren, zeigten insbesondere schlechtere Schüler eine höhere Akzeptanz.

4.2 Die latente Klassenanalyse differenzierte den Subtest **Wissenserwerb** inhaltlich in „Vorwissen-Items“ und „projektbezogene“, d.h. auf neue Lerninhalte bezogene Items und die Probanden in entsprechend unterschiedliche Lerner-Typen. Die Schüler aller Unterrichtsgruppen erwarben insgesamt und projektbezogenes Wissen, vorwissenbezogen jedoch nur im Lernort Labor. Ein Teil des Wissens blieb persistent erhalten, ein anderer Teil wurde wieder vergessen. Die Förderung des Wissenserwerbs im Lernort Labor verdeutlichte zusätzlich ein signifikant höheres Lerner-Anteil gegenüber dem Lernort Schule und das Fehlen bzw. nur teilweise Vorhandensein von positiven Korrelationen von Lernleistungen im Test mit vorherigen schulischen Leistungen. Der aktuelle Lernerfolg war in der Experimentalsituation insgesamt sowie in der nicht experimentellen Laborsituation vorwissenbezogen signifikant höher als in der Schulsituation. Die besondere Bedeutung des vorhandenen Vorwissens für die Experimental-Gruppe wurde durch deren signifikant höheren Anteil an Projektwissen-Lernern und die nur für diese Gruppe feststellbaren positiven Korrelationen von Lernleistungen und der unterrichtlichen Experimentiererfahrung über Lehrerdemonstrationsexperimente sichtbar. Andererseits war das nachträgliche Vergessen insgesamt und projektbezogen in der Experimentalsituation signifikant stärker als in der Schulsituation.

Die Ergebnisse deuten zum einen eine mögliche Erhöhung der Lernmotivation im Lernort Labor an, weiter gesteigert durch das Experimentieren, zum anderen stehen sie im Einklang mit der Cognitive-Load-Theorie, in dem sie auf u.U. höhere unterrichtsbezogene Belastungen der Schüler in der Experimentalsituation hinweisen.

4.3 Das insgesamt schon hohe **Interesse** differenzierte sich inhaltlich in Interesse an „Anwendungen der Gentechnik beim Menschen“ und in der „Grünen Gentechnik“ sowie an deren „ethischen Aspekten“.

Nur bei den Mädchen war in der Experimental-Gruppe die Abnahme des Gesamtinteresses signifikant gegenüber dessen Stabilität in den nicht



experimentellen Gruppen (unabhängig vom Lernort). Entsprechend war in der Experimentalsituation das stabile Interesse an ethischen Aspekten signifikant gegenüber dessen Zunahme in den nicht experimentellen Gruppen. Die vermutete Interessseförderung durch das Experimentieren lässt sich nicht bestätigen.

5. Aus der Untersuchung lassen sich zudem unterrichtliche Konsequenzen ableiten: In Anbetracht der geringen Vorerfahrungen mit Schülerexperimenten sollte wenigstens auf Lehrerdemonstrationsexperimente nicht verzichtet werden, da sich entsprechende Erfahrungen der Schüler in der Experimentalsituation positiv auswirken können. Die besondere Bedeutung des Vorwissens beim Experimentieren bedingt zum einen, Besuche im externen Lernort Labor in der Schule vorzubereiten, zum anderen, den Aufenthalt im außerschulischen Lernort in einen unterrichtlichen Rahmen zu stellen, der bei den Schülern die Aktualisierung von Vorwissen ermöglicht.

## IX. Summary

1. Based on theories of development-orientated evaluation research, an experimental module was developed relating to aspects and methods of gene technology. It was offered to classes as an experimental workshop in an out-of-school educational laboratory. The day-long teaching unit consisted of a sequence of authentic experiments: (i) transformation of bacteria with a recombinant plasmid coding for the green fluorescent protein GFP; (ii) isolation and restriction analysis of the plasmid and (iii) visualization of the results by agarose gel electrophoresis. Experimental work was coupled with an ethical reflection unit regarding gene therapy.

2. The study was of a quasi-experimental design, with one group doing experiments and two control groups doing no experiments (one at school and one at the lab). An additional external control group without any intervention was also included in order to survey potential pre-test effects or other external influences. Altogether, 363 12<sup>th</sup> graders of secondary schools (29 A-level courses, highest level [Gymnasium]) were assessed with regard to acceptance, increase in knowledge, and interest in gene technology. To this end a questionnaire was developed and tested in a pilot study with 172 participating pupils (12 courses).

3. Three surveys were done: pre-test, post-test and retention test. Scores for acceptance, increase in knowledge, and interest were calculated and evaluated as regards differences between the groups using the quantitative test theory and, in the case of increase in knowledge, by additionally applying latent class analysis.

4. The two independent variables (learning location, experimental work) revealed the following influences on the three constructs tested:

4.1 Current and retrospective **acceptance** of teaching with experiments in the out-of-school lab showed significantly higher scores in comparison with non-experimental instruction on the same themes, independent of the learning location (school or lab). "Affective rating" and "rating of lesson related actions" could be identified as significant acceptance factors. Acceptance of the experimental unit is based primarily on the hands-on activities, while acceptance of the non-experimental lessons depends on aspects such as content, instructional methods, and the teacher as a person.

4.2 The subtest **knowledge increase** was divided into two parts by means of latent class analysis: “prior knowledge” items and “project-oriented” items relating to new themes. The pupils were divided correspondingly into learner types. Pupils of all groups increased their knowledge either as a whole or in relation to the project, while an improvement in “prior knowledge” items was revealed only in the lab independently of whether experiments were done. Part of the pupils’ knowledge persisted, another part was forgotten. Additionally, the stimulation of knowledge increase in the lab situation is shown by a significantly higher proportion of learners in comparison with learning at school and the lack, or, as the case may be, the only partial existence of positive correlations between achievement in learning variables and prior achievement at school. Actual learning success was significantly higher in the group which performed experiments as regards knowledge acquisition as a whole, and in the non-experiment lab group as regards the actualisation of prior knowledge, both of these in comparison to the school group. The special importance of prior knowledge in the experiment group was revealed by their significantly higher proportion of project-related learners as well as by positive correlations - only shown in this group - between achievement in learning performance and experience of demonstration-experiments (by teachers) in school. On the other hand, in the experiment group the score for overall and project-related forgetting was significantly higher than in the school group.

The results suggest, on the one hand, a possible increase in learning motivation in the lab, furthered by the performance of experiments, and on the other hand, they comply with the cognitive load theory in that they possibly indicate a higher extraneous load for the pupils in the experimental situation.

4.3 The high **interest** in aspects of gene technology is differentiated into interest in “human applications” and applications in “Green gene technology” as well as its “ethical aspects”. Results showed changes in interest only in the girls. In the experiment group the decrease of interest as a whole was significant in comparison to stability of interest in the non-experiment groups (either school or lab). Similarly, in the experiment group the stability of interest in ethical aspects was significant in comparison to the corresponding increase in the groups without any experiments (both learning locations again). The expected stimulation of interest through the performance of experiments cannot be confirmed.

5. Additionally, some consequences for the teaching of science can be derived from the results: In view of the pupils' lack of previous experience with practical lab work, teachers should not dispense with demonstration-experiments, because such experience could possibly affect learning through experimentation in a positive way. Due to the special importance of prior knowledge with regard to learning by carrying out experiments it is necessary to prepare pupils in school for a visit to an educational lab out-of-school. Secondly, out-of school experimentation should be made one part of a teaching framework which enables the pupils to actualise their prior knowledge.

**X. Literaturverzeichnis**

- AFSSDPDS (Agence Francaise de Securite Sanitaire Des Produits De Sante 2002): *Severe Combined Immuno-Deficiency The clinical trial put on hold* (URL: <http://afssaps.sante.fr/htm/10/filcoprs/021001en.htm>, 2.6.2005).
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. & Walter, P. (2004): *Molekularbiologie der Zelle*. Weinheim: Wiley-VCH, 4. Auflage.
- Aufschnaitter, S. v. & Welzel, M. (2001): Nutzung von Videodaten zur Untersuchung von Lehr-Lern-Prozessen: Eine Einführung. In: Aufschnaitter, S. v. & Welzel, M. (Hrsg.): *Nutzung von Videodaten zur Untersuchung von Lehr-Lern-Prozessen* (7-15). Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Baddeley, A. (1992): Working Memory. *Science*, 255, 556-559.
- Bader, H. J. (1992): Das Experiment im Unterricht. In: Pfeifer, P., Häusler, K. & Lutz, B. (Hrsg.): *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (292-318). München: Oldenbourg.
- Bannert, M. (2002): Managing cognitive load - recent trends in cognitive load theory. *Learning and Instruction*, 12 (1), 139-146.
- Battistutta, R., Negro, A. & Zanotti, G. (2000): Crystal Structure and Refolding Properties of the Mutant F99S/M153T/V163A of the Green Fluorescent Protein. *Proteins: Structure, Function, and Genetics*, 41, 429-437.
- Baum, C., Kalle, C. v., Staal, F. J., Li, Z., Fehse, B., Schmidt, M., Weerkamp, F., Karlsson, S., Wagemaker, G. & Williams, D. A. (2004): Chance or necessity? Insertional Mutagenesis in Gene Therapy and Its Consequences. *Molecular Therapy*, 9 (1), 5-13.
- Baumert, J., Artelt, C., Carstensen, C. H., Sibberns, H. & Stanat, P. (2002): Untersuchungsgegenstand, Fragestellungen und technische Grundlagen der Studie. In: Deutsches PISA-Konsortium (Hrsg.): *PISA 2000 - Die Länder der Bundesrepublik Deutschland im Vergleich* (11-38). Opladen, Leske + Budrich.
- Baumert, J., Klieme, E. & Bos, W. (2001): Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Die Herausforderung von TIMSS für die Weiterentwicklung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts. In: Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): *TIMSS - Impulse für Schule und Unterricht* (11-41). Bonn.
- Baumert, J., Lehmann, R., Lehrke, M., Schmitz, B., Clausen, M., Hosenfeld, I., Köller, O. & Neubrand, J. (1997): *TIMSS - Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Deskriptive Befunde*. Opladen: Leske + Budrich.
- Bayrhuber, H. (2000): Ethical analysis in teaching biotechnology. In: Bayrhuber, H., Garvin, W. & Grainger, J. (Hrsg.): *Teaching Biotechnology at School: A European Perspective* (101-110). Kiel: IPN.
- Beaton, A. E., Martin, M., Mullis, I., Gonzales, E., Smith, T. & Kelly, D. (1996): *Science achievement in the middle school years. IEA's third international mathematics and science study*. Chestnut Hill, MA: TIMSS International Study Center, Boston College.

- Beisenherz, W. (1980): Die Bedeutung des Experimentss im Biologieunterricht der gymnasialen Oberstufe in der Sekundarstufe II. *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie*, 80 (7), 216-219.
- Bender, R. & Lange, S. (2001): Adjusting for multiple testing - when and how? *Journal of Clinical Epidemiology*, 54, 343-349.
- Beney, M. & Séré, M.-G. (2002): Students' Intellectual Activities During Standard Labwork at Undergraduate Level. In: Psillos, D. & Niedderer, H. (Hrsg.): *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (65-78). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Benson, D., Karsch-Misrachi, I., Lipman, D., Ostell, J. & Wheeler, D. (2004): GenBank: update. *Nucleic Acid Research*, 32 (Jan 1), Database issue 23-26.
- Berck, K.-H. (2001): *Biologiedidaktik. Grundlagen und Methodik*. Wiebelsheim: Quelle & Meyer, 2. Auflage.
- Berck, K.-H. & Graf, D. (2003): *Biologiedidaktik von A bis Z. Wörterbuch mit 1000 Begriffen*. Wiebelsheim: Quelle & Meyer.
- Berck, K.-H. & Klee, R. (1992): *Interesse an Tier- und Pflanzenarten und Handeln im Natur-Umweltschutz. Eine empirische Untersuchung an Erwachsenen und ihre Konsequenzen für die Umwelterziehung*. Frankfurt am Main, Berlin, Bern, New York, Paris, Wien: Peter Lang.
- Bergin, D. (1999): Influences on classroom interest. *Educational Psychologist*, 34, 87-98.
- Berlyne, D. (1974): *Konflikt, Erregung, Neugier. Zur Psychologie der kognitiven Motivation*. Weinsberg: Ernst Klett.
- Berry, A., Gunstone, R., Loughran, J. & Mulhall, P. (2001): Using Laboratory Work for Purposeful Learning about the Practise of Science. In: Behrendt, H., Dahncke, H., Duit, R., Gräber, W., Komorek, M., Kross, A. & Reiska, P. (Hrsg.): *Research in Science Education - Past, Present, and Future* (313-318). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Bio-Rad Laboratories (Hrsg., 2002): *pGLO DNA sequence* (URL: <http://www.bio-rad.com/LifeScience/docs/pgloseq.doc>, online 2.6.2005).
- Bio-Rad Laboratories (Hrsg., o.J.): *Biotechnology Explorer. pGLO Bacterial Transformation Kit*. Hercules, CA.
- Birkenhauer, J. (1992): *Akzeptanz von Begriffen im Erdkundeunterricht*. München: Selbstverlag Lehrstuhl Didaktik der Geographie der Universität München.
- Birnboim, H. & Doly, J. (1979): A rapid alkaline extraction procedure for screening recombinant plasmid DNA. *Nucleic Acids Research*, 7 (6), 1513-1523.
- Blasberg, R. G. & Tjuvajev, J. G. (2003): Molecular-genetic imaging: current and future perspectives. *The Journal of Clinical Investigation*, 111 (11), 1620-1629.
- Bögeholz, S. & Bittner, A. (2004): Fostering research interest in the natural sciences by youth science laboratories. In: *Proceedings of the 11th IOSTE Symposium, July 25-30, 2004* (79-80). Lublin.

- Bortz, J. & Döring, N. (1995): *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2. Auflage.
- Boyer, H. & Roulland-Dussoix, D. (1969): A complementation analysis of the restriction and modification of DNA in *Escherichia coli*. *Journal of Molecular Biology*, 41 (3), 459-472.
- Brix, J. (2003): *NaT Working Molekularbiologie* (URL: <http://www.nat-working-biologie.de/>, online 1.6.2005).
- Brockhaus, G. (Hrsg., 1986): *Brockhaus-Enzyklopädie. In vierundzwanzig Bänden. Erster Band A - APT*. Mannheim: F.A. Brockhaus, 19. Auflage.
- Brosius, G. (1989): *SPSS/PC+ Advanced Statistics und Tables*. Hamburg, New York: McGraw-Hill.
- Bruner, J., Goodnow, J. J. & Austin, G. A. (1956): *A study of Thinking*. New York, London, Sydney: John Wiley & Sons.
- Bryce, T. & Robertson, I. (1985): What can they do? A review of practical assessment in science. *Studies in Science Education*, 12, 1-24.
- Bustos, S. A. & Schleif, R. F. (1993): Functional domains of the AraC protein. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 90 (June), 5638-5642.
- BVUK (Bundesverband der Unfallkassen, Hrsg., 2003): *Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht - Naturwissenschaften, Technik/Arbeitslehre, Hauswirtschaft, Kunst*. München: Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht und Kultus vom 9. September 2003 Nr. VI.8-5 S 4400.13-6.72 085.
- Cacalano, N. A. & Johnston, J. A. (1999): Immunogenetics '99 - Interleukin-2 Signaling and Inherited Immunodeficiency. *American Journal of Human Genetics*, 65, 287-293.
- Cavazzana-Calvo, M., Hacein-Bey, S., de Saint Basile, G., Gross, F., Yvon, E., Nusbaum, P., Selz, F., Hue, C., Certain, S., Casanova J.L., Bousso, P., Le Deist, F., & Fischer, A. (2000): Gene Therapy of Human Severe Combined Immunodeficiency (SCID)-X1 Disease. *Science*, 288 (28 April), 669-672.
- Chalfie, M., Tu, Y., Euskirchen, G., Ward, W. W. & Prasher, D. C. (1994): Green Fluorescent Protein as a Marker for Gene Expression. *Science*, 263 (11 February), 802-805.
- Chen, X., Li, X., Stanton, B., Mao, R., Sun, Z., Zhang, H., Qu, M., Wang, J. & Thomas, R. (2004): Patterns of cigarette smoking among students from 19 colleges and universities in Jiangsu Province, China: a latent class analysis. *Drug and Alcohol Dependence*, 76, 153-163.
- Chinn, C. A. & Malhotra, B. A. (2002): Epistemologically Authentic Inquiry in Schools: A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks. *Science Education*, 86 (2), 175-218.
- Cody, C. W., Prasher, D. C., Westler, W. M., Prendergast, F. G. & Ward, W. W. (1993): Chemical Structure of the Hexapeptide Chromophore of the *Aequorea* Green-Fluorescent Protein. *Biochemistry*, 32, 1212-1218.

- Cohen, J. (1968): Weighted Kappa: Nominal Scale Agreement with Provision for Scaled Disagreement or Partial Credit. *Psychological Bulletin*, 70, 213-220.
- Collette, A. T. & Chiappetta, E. L. (1984): *Science instruction in the middle and secondary schools*. St. Louis, Toronto, Santa Clara: Times Mirror/Mosby College Publ.
- Cook, T. D. & Campbell, D. T. (1979): *Quasi-Experimentation. Design & Analysis Issues for Field Settings*. Chicago: Rand McNally College Publishing Company.
- Cormack, B. P., Valdivia, R. H. & Falkow, S. (1996): FACS-optimized mutants of the green fluorescent protein (GFP). *Gene*, 173, 33-38.
- Cramer, A., Whitehorn, E., Tate, E. & Stemmer, W. (1996): Improved green fluorescent protein by molecular evolution using DNA shuffling. *Nature Biotechnology*, 14 (3), 315-319.
- Csikszentmihalyi, M. (1992): *Flow. Das Geheimnis des Glücks*. Stuttgart: Klett-Cotta, 2. Auflage.
- Cutler, M. & Ward, W. W. (1997): Spectral Analysis and Proposed Model for GFP Dimerization. In: Hastings, J., Kricka, L. & Stanley, P. (Hrsg.): *Bioluminescence and Chemiluminescence; Molecular Reporting with Photons* (403-406). New York: Wiley.
- Davenport, D. & Nicol, J. (1955): Luminescence in Hydromedusae. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 144, 399-411.
- Davies, M. v. (1997): *Methoden zur Prüfung probabilistischer Testmodelle*. Kiel: IPN.
- Davies, M. v. (2001): *Winmira 2001*. Kiel: CD-ROM.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993): Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39 (2), 223-238.
- Deutscher Bildungsrat (1970): *Empfehlungen der Bildungskommission: Strukturplan für das Bildungswesen*. Stuttgart, Klett.
- Diehl, J. M. & Arbinger, R. (2001): *Einführung in die Interferenzstatistik*. Eschborn: Dietmar Klotz, 3. Auflage.
- Diehl, J. M. & Kohr, H. U. (1999): *Deskriptive Statistik*. Eschborn: Dietmar Klotz, 12. Auflage.
- Diehl, J. M. & Staufenbiel, T. (2002): *Statistik mit SPSS. Version 10+11*. Eschborn: Dietmar Klotz.
- Dietrich, J. (1998): Leitideen für die Behandlung wissenschaftsethischer Themen in der Schule am Beispiel "Gentechnik bei Pflanzen". In: Müller, A., Dietrich, J. & Hellwig, F.-T. (Hrsg.): *Gentechnologie bei Pflanzen, Herausforderungen für den Schulunterricht* (80-103). Stuttgart: Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg.
- Domin, D. S. (1999): A Review of Laboratory Instruction Styles. *Journal of Chemical Education*, 76 (4), 543-547.
- Dori, Y. J., Tal, R. T. & Tsaushu, M. (2003): Teaching Biotechnology Through Case Studies - Can We Improve Higher Order Thinking Skills of Nonscience Majors? *Science Education* 87, 767-793.



- Draschoff, S. (2002): *Lernen am Computer durch Konfliktinduzierung. Gestaltungsempfehlungen und Evaluationsstudie zum interaktiven computergestützten Lernen*. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Duit, R. & Treagust, D. F. (1998): Learning in Science - From Behaviourism Towards Social Constructivism and Beyond. In: Fraser, B. J. & Tobin, K. G. (Hrsg.): *International Handbook of Science Education, Part One (3-25)*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Dulitz, B. & Kattmann, U. (1990): *Bioethik. Fallstudien für den Unterricht*. Stuttgart: J.B. Metzler.
- Dunn, J. & Boud, D. (1986): Sequencing and Organization. In: Boud, D., Dunn, J. & Hegarty-Hazel, E. (Hrsg.): *Teaching in Laboratories*. Exeter: NFER- Nelson.
- Ellrott, H. (2001): *Kontaktbrief Biologie 2001*. München: Staatsinstitut für Schulpädagogik und Bildungsforschung.
- EschG (Embryonenschutzgesetz 1990): Gesetz zum Schutz von Embryonen (Embryonenschutzgesetz - EschG). In der Fassung der Bekanntmachung vom 13. Dezember 1990. *Bundesgesetzblatt*, I, 2747 ff.
- Emery, D. E. (2004): Gene therapy for genetic diseases: on the horizon. *Clinical and Applied Immunology Reviews*, 4, 411-422.
- Endruweit, G. (2002): Akzeptanz und Sozialverträglichkeit. In: Endruweit, G. & Trommsdorf, G. (Hrsg.): *Wörterbuch der Soziologie (6-7)*. Stuttgart: Lucius und Lucius.
- Engeln, K. (2001): Tabellarische Übersicht über die Aktivitäten. In: Ringelband, U., Prenzel, M. & Euler, M. (Hrsg.): *Lernort Labor - Initiativen zur naturwissenschaftlichen Bildung zwischen Schule, Forschung u. Wirtschaft (43-49)*. Kiel: IPN.
- Engeln, K. (2004): *Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken*. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- Eschenhagen, D., Kattmann, U. & Rodi, D. (Hrsg. 2003): *Fachdidaktik Biologie*. Köln: Aulis Verlag Deubner, 6. Auflage.
- Eser, A. (1994): Rechtsprobleme der Gen- und Fortpflanzungstechniken beim Menschen. In: Klingmüller, W. (Hrsg.):  *Gentechnik im Widerstreit (123-142)*. Stuttgart: S. Hirzel.
- Euler, M. (2001): Lernen durch Experimentieren. In: Ringelband, U., Prenzel, M. & Euler, M. (Hrsg.): *Lernort Labor - Initiativen zur naturwissenschaftlichen Bildung zwischen Schule, Forschung u. Wirtschaft (13-42)*. Kiel: IPN.
- Falkenhausen, E. v. (1985): *Wissenschaftspropädeutik im Biologieunterricht der gymnasialen Oberstufe*. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Falkenhausen, E. v., Döring, R., Otto, A.-R. & Treinis, H. (1988): *50 neue Abituraufgaben Biologie*. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Felser, G. (1997): *Werbe- und Konsumentenpsychologie*. Berlin: Schäffer-Poeschel.

Feng, S. & Tuan, H. (im Druck): Using ARCS Model to promote 11th graders motivation and achievement in learning acids and bases. *International Journal of Science and Mathematics Education*.

Finke, E. (1998): *Interesse an Humanbiologie und Umweltschutz in der Sekundarstufe I. Empirische Untersuchung zu altersbezogenen Veränderungen und Anregungsfaktoren*. Hamburg: Dr.Kovac.

Flad, M. & Flad, J. (2004): *BioLab Baden-Württemberg on Tour* (URL: <http://www.biolab-bw.de/>, online 1.6.2005).

Friman, P. C., Allen, K. D., Kerwin, M. L. & Larzelere, R. (1993): Changes in Modern Psychology: A Citation Analysis of the Kuhnian Displacement Thesis. *American Psychologist*, 48 (6), 658-664.

Füller, F. (1992): *Biologische Unterrichtsexperimente: Bedeutung und Effektivität*. München: Münchner Schriften zur Didaktik der Biologie, Band 8.

Gardner, P. & Gauld, C. (1990): Labwork and Students Attitude. In: Hegarty-Hazel, E. (Hrsg.): *The Student Laboratory and the Science Curriculum* (132-158). London: Routledge.

Gardner, P. L. (1985): Students' interest in science and technology: an international overview. In: Lehrke, M., Hoffmann, L. & Gardner, P. L. (Hrsg.): *Interests in Science and Technology Education. 12th IPN Symposium* (15-34). Kiel: IPN.

Garrett, R. & Roberts, I. (1982): Demonstration versus Small Group Practical Work in Science Education. A critical review of studies since 1900. *Studies in Science Education*, 9, 109-146.

Gaspar, H., Howe, S. & Thrasher, A. (2003): Gene therapy progress and prospects: gene therapy for severe combined immunodeficiency. *Gene Therapy*, 10, 1999-2004.

Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995): Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41, 867-888.

Glaser, R., Allen, K. D., Kerwin, M. L. & Larzelere, R. (1984): Education and Thinking. The Role of Knowledge. *American Psychologist*, 39 (2), 93-104.

Glaserfeld, E. v. (2001): Einführung in den radikalen Konstruktivismus. In: Watzlawik, P. (Hrsg.): *Die erfundene Wirklichkeit. Wie wissen wir, was wir zu wissen glauben? Beiträge zum Konstruktivismus* (16-38). München, Zürich: Piper.

Glowinski, I. & Bayrhuber, H. (2005): Schülerlabore und ihr Potenzial, Interesse an den Naturwissenschaften zu wecken. In: Bayrhuber, H., Bögeholz, S., Graf, D., Hammann, M., Harms, U., Hößle, C., Krüger, D., Langlet, J., Lude, A., Mayer, J., Lude, A., Mayer, J., Riemeier, T., Sandmann, A., Schlüter, K., Unterbruner, U., Upmeyer zu Belzen, A. & Ziemek, H.-P. (Hrsg.): *Bildungsstandards Biologie Internationale Tagung der Sektion Biologiedidaktik im VDBiol, Bielefeld, 27.2. bis 4.3. 2005* (183). Kiel: IPN.

Glowinski, I. & Schoeps, K. (2004): *PRONaT - Pro Naturwissenschaften und Technik* (URL: <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/ipnblatt/ip204/ip204r04.htm>, Internet-Ausgabe der IPN-Blätter 2004 (2), online 1.6.2005).

Gore, M. (2003): Adverse effects of gene therapy: Gene therapy can cause leukaemia: no shock mild horror but a probe. *Gene Therapy*, 10 (1), 1611-1616.

- Graf, E. (2004): Fachgerechte Denk- und Arbeitsweisen für den Biologieunterricht. In: Graf, E. (Hrsg.): *Biologiedidaktik für Studium und Unterrichtspraxis* (120-130). Donauwörth: Auer.
- Grönke, O. & Windelband, A. (1962): Die Erkundungsformen. In: Uhlig, A., Baer, H.-W., Dietrich, G., Fischer, H., Günther, J., Hopf, P. & Loschan, R. (Hrsg.): *Didaktik des Biologieunterrichts* (141-175). Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Gruber, H., Prenzel, M. & Schiefele, H. (2001): Spielräume für Veränderung durch Erziehung. In: Krapp, A. & Weidemann, B. (Hrsg.): *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (99-135). Weinheim: Beltz PVU, 4. Auflage.
- Grupe, H. (1973): *Biologie-Didaktik. Auswahl der Lehrinhalte und Gestaltung des Unterrichts*. Köln: Aulis Verlag Deubner, 2. Auflage.
- Guzman, L.-M., Belin, D., Carson, M. J. & Beckwith, J. (1995): Tight Regulation, Modulation, and High-Level Expression by Vectors Containing the Arabinose PBAD Promotor. *Journal of Bacteriology*, 177 (14), 4121-4130.
- Hacein-Bey, S., Cavazzana-Calvo, M., Le Deist, F., Dautry-Varsat, A., Hivroz, C., Riviere, I., Danos, O., Heard, J., Sugamara, A., Fischer, A. & De Saint Basile, G. (1996): yc Gene Transfer Into SCID X1 Patients' B-Cell Lines Restores Normal High-Affinity Interleukin-2 Receptor Expression and Function. *Blood: Journal of The American Society of Hematology*, 87 (8), 3108-3116.
- Hacein-Bey-Abina, S., Kalle, C v., Schmidt, M., McCormack, M., Wulfraat, N., Leboulch, P., Lim, A., Osborne, C., Pawliuk, R., Morrilon, E., Sorensen, R., Forster, A., Fraser, P., Cohen, J. I., De Saint Basile, G., Alexander, I., Wintergerst, U., Frebourg, T., Aurias, A., Stoppa-Lyonnet, D., Romana, S., Radford-Weiss, I., Gross, F., Valensi, F., Delabesse, E., Macintyre, E., Sigaux, F., Soulier, J., Leiva, L. E., Wissler, M., Prinz, C., Rabbitts, T. H., Le Deist, F., Fischer, A. & Cavvazana-Calvo, M. (2003): LMO2-Associated Clonal T Cell Proliferation in Two Patients after Gene Therapy for SCID-X1. *Science*, 302 (17 October), 415-419.
- Haladyna, T. M. & Downing, S. M. (1989): Validity of a Taxonomy of Multiple-Choice Item-Writing Rules. *Applied Measurement in Education*, 2 (1), 51-78.
- Hampel, J. & Pfenning, U. (2001): Einstellungen zur Gentechnik. In: Hampel, J. & Renn, O. (Hrsg.): *Gentechnik in der Öffentlichkeit. Wahrnehmung und Bewertung einer umstrittenen Technologie* (28-55). Frankfurt, New York: Campus.
- Hannappel, K. (2003): *Lernen in außerschulischen Settings* (URL: <http://www.psychologie.uni-kiel.de/psychpaed/forschung/settings.htm>, online 1.6.2005).
- Hannover, B. (1998): The Development of Self-Concept and Interests. In: Hoffmann, L., Krapp, A., Renninger, K. A. & Baumert, J. (Hrsg.): *Interest and Learning Proceedings of the Seon Conference on Interest and Gender* (105-125). Kiel: IPN.
- Hanson, G., Aggeler, R., Oglesbee, D., Cannon, M., Capaldi, R., Tsien, R. & Remington, S. (2004): Investigation mitochondrial redox potential with redox-sensitive green fluorescent indicators. *The Journal of Biological Chemistry*, 279 (13), 13044-13053.
- Harlen, W. (1999): *Effective Teaching of Science. A review of research*. Edinburgh: SRCE Publication 142, Using research series 21.

- Hartmann, M. (1948): *Die philosophischen Grundlagen der Naturwissenschaften. Erkenntnistheorie und Methodologie*. Jena: Gustav Fischer.
- Hasselhorn, M. & Schumann-Hengsteler, R. (2001): Arbeitsgedächtnis. In: Rost, D. (Hrsg.): *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (17-22). Weinheim: Beltz-PVU, 2. Auflage.
- Häußler, P., Bündler, W., Duit, R., Gräber, W. & Mayer, J. (1998): *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung. Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. Kiel: IPN.
- Hedewig, R. (1990): Bericht der Arbeitsgruppe "Experimentieren im Biologieunterricht". In: Killermann, W. & Staeck, L. (Hrsg.): *Methoden des Biologieunterrichts: Bericht über die Tagung der Sektion Fachdidaktik im Verband* (82-87). Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Hegarty-Hazel, E. (1986): Research on Laboratory Work. In: Boud, D., Dunn, J. & Hegarty-Hazel, E. (Hrsg.): *Teaching in Laboratories* (129-152). Exeter: NFER-Nelson.
- Hegarty-Hazel, E. (1990): The Student Laboratory and the Science Curriculum: An Overview. In: Hegarty-Hazel, E. (Hrsg.): *The Student Laboratory and the Science Curriculum* (3-27). London: Routledge.
- Heiland, S. (1999): *Voraussetzungen erfolgreichen Naturschutzes. Individuelle und gesellschaftliche Bedingungen umweltgerechten Verhaltens, ihre Bedeutung für den Naturschutz und die Durchsetzbarkeit seiner Ziele*. Landsberg: Ecomed.
- Heim, R., Prasher, D. C. & Tsien, R. Y. (1994): Wavelength mutations and posttranslational autooxidation of green fluorescent protein. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91 (Dec.), 12501-12504.
- Hempel, C. G. (1977): *Philosophie der Naturwissenschaften*. München: DTV, 2. Auflage.
- Hernandez-Martin, A., Gonzalez-Sarmiento, R. & De Unamo, P. (1999): X-linked ichthyosis: an update. *British Journal of Dermatology*, 141, 617-627.
- Heuermann, M. (2004): *Ergebnisse der Sekundarstufenuntersuchung* (URL: <http://pc1.uni-bielefeld.de/~teutolab/bmbf/bmbf-sekundarstufe.html>, online 1.6.2005).
- Hidi, S. (2000): An Interest Researcher's Perspective: The Effects of Extrinsic and Intrinsic Factors on Motivation. In: Sansone, C. & Harackiewicz, J. M. (Hrsg.): *Intrinsic and Extrinsic Motivation. The Search for Optimal Motivation and Performance* (309-339). San Diego, San Francisco, New York, Boston, London Sydney, Tokyo: Academic Press.
- Hill, R., Stanisstreet, M. & Boyes, E., (2000): What ideas do students associate with 'biotechnology' and 'genetic engineering'?. *School Science Review*, 81, 77-83.
- Hitzig, W. & Willi, H. (1961): Hereditäre lympho-plasmocytäre Dysgenese ("Alymphocytose mit Agammaglobulinämie"). *Schweizerische Medizinische Wochenzeitschrift*, 52, 1625-1633.
- Hodson, D. (1990): A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, 70, 33-44.

- Hodson, D. (1992): Redefining and reorienting practical work in school science. *School Science Review*, 73, 65-78.
- Hodson, D. (1993): Re-thinking Old Ways: Towards A More Critical Approach To Practical Work In School Science. *Studies in Science Education*, 22, 85-142.
- Hodson, D. (1998): *Teaching and Learning Science. Towards a personalized approach*. Buckingham, Philadelphia: Open University Press.
- Hodson, D. & Bencze, L. (1998): Becoming critical about practical work: changing views and changing practice through action research. *International Journal of Science Education*, 20 (6), 683-694.
- Hoffmann, L. (2002): Promoting girls' interest and achievement in physics classes for beginners. *Learning and Instruction*, 12 (4), 447-465.
- Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (1982): The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. *Review of Educational Research*, 52, 201-217.
- Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (2004): The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*, 88 (1), 28-54.
- Holstermann, N. & Bittner, A. (2004): Außerschulischer Lernort Labor: motivationale Eingangsbedingungen für naturwissenschaftliches Lernen von Schüler(inne)n. In: Harms, U. & Urhahne, D. (Hrsg.): *Tagungsbeiträge zur Sechsten Frühjahrsschule der Sektion Fachdidaktik im Verband Deutscher Biologen (25-26)*. München.
- Honebein, P. C., Duffy, T. M. & Fishman, B. J. (1993): Constructivism and the Design of Learning Environments: Context and Authentic Activities for Learning. In: Duffy, T. M., Lowyck, J., Jonassen, D. H. & Welsh, T. M. (Hrsg.): *Designing Environments for Constructive Learning (87-108)*. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest: Springer.
- Höble, C. (2001): *Moralische Urteilsfähigkeit. Eine Interventionsstudie zur moralischen Urteilsfähigkeit von Schülern zum Thema Gentechnik*. Innsbruck, Wien, München, Bozen: StudienVerlag.
- Inouye, S. & Tsuji, F. (1994): Aequorea green fluorescent protein. Expression of the gene and fluorescent characteristics of the recombinant protein. *FEBS Letters*, 341, 277-280.
- IPN (Leibniz-Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften, Hrsg., 2004): *IPN-Forschungsplan für die Jahre 2004 bis 2006. Arbeitsbereich 6: Sicherung und Weiterentwicklung der Qualität des naturwissenschaftlichen Unterrichts*. Kiel: IPN
- Iwai, H., Lingel, A. & Plückthun, A. (2001): Cyclic Green Fluorescent Protein Produced in Vivo Using an Artificially Split PI-Pful Intein from *Pyrococcus furiosus*. *The Journal of Biological Chemistry*, 276 (19), 16548-16554.
- Izard, C. E. (1981): *Die Emotionen des Menschen. Eine Einführung in die Grundlagen der Emotionspsychologie*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Jenett, H. & Kohse-Höinghaus, K. (2003): Chemie zum Selbermachen - Mitmachlabors in Deutschland. *Nachrichten aus der Chemie*, 51 (2), 144-149.
- Jenkins, E. (1999): Practical work in School Science. - some questions to be answered. In: Leach, J. & Paulson, A. (Hrsg.): *Practical Work in Science Education: Recent Research Studies (19-32)*. Fredericksberg: Roskilde University Press.

- Johnson, F. H., Shimomura, O., Saiga, Y., Gershman, L. C., Reynolds, G. T. & Waters, J. R. (1962): Quantum Efficiency of Cypridina Luminescence, With a Note on That of Aequorea. *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, 60, 85-103.
- Johnstone, A. & Letton, K. (1990): Investigating undergraduate laboratory work. *Education in Chemistry*, 27, 9-11.
- Johnstone, A. & Wham, A. (1982): The Demands of Practical Work. *Education in Chemistry*, 19, 71-73.
- Kac, E. (2002): GFP Bunny. *Kunstforum*, 158 (Januar/März), 46-57.
- Kasten, H. (2001): Geschlechtsunterschiede. In: Rost, D. (Hrsg.): *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (212-218). Weinheim: Beltz-PVU, 2. Auflage.
- Kattmann, U. (2003): "Vom Blatt zum Planeten" - Scientific Literacy und kumulatives Lernen im Biologieunterricht und darüber hinaus. In: Moschner, B., Kiper, H., Kattmann, U. (Hrsg.): *PISA 2000 als Herausforderung - Perspektiven für Lehren und Lernen* (115-138). Baltmannsweiler: Schneider Hohengeren.
- Keck, G., Killus, D. & Müller, S. (1998): *Einstellung zur Gentechnik bei Schülerinnen und Schülern*. Stuttgart: Arbeitsberichte der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Nr. 108.
- Keller, J. M. (1987): Development and Use of the ARCS Model of Instructional Design. *Journal of Instructional Development*, 10 (3), 2-10.
- Kempa, R. & Diaz, M. (1990): Students' motivational traits and preferences for different instructional modes in science education - Part 2. *International Journal of Science Education*, 12 (2), 205-216.
- Keselman, A. (2003): Supporting Inquiry Learning by Promoting Normative Understanding of Multivariable Causality. *Journal of Research in Science Teaching*, 40 (9), 898-921.
- Kessler, C. & Manta, V. (1990): Specificity of restriction endonucleases and DNA modification methyltransferases - a review (edition 3). *Gene*, 92 (1-2), 1-248.
- Killermann, W. (1995): *Biologieunterricht heute. Eine moderne Fachdidaktik*. Donauwörth: Ludwig Auer, 10. Auflage.
- Klafki, W. (1964): Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung. In: Roth, H. & Blumenthal, A. (Hrsg.): *Grundlegende Aufsätze aus der Zeitschrift Die Deutsche Schule, Auswahl 1* (5-34). Hannover, Dortmund, Darmstadt, Berlin: Schroedel.
- Klautke, S. (1997): Ist das Experimentieren im Biologieunterricht noch zeitgemäß? *Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht*, 50 (6), 323-329.
- Köhler, K.-H. (2004): Nach welchen Prinzipien kann Biologieunterricht gestaltet werden. In: Spörhase-Eichmann, U. & Ruppert, W. (Hrsg.): *Biologie-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (124-145). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Köhler-Krützfeldt, A. (2001): *Entwicklung und Evaluation von Lernzyklen zum Thema Maßgeschneiderte Polymere im Rahmen der Konzeption Chemie im Kontext*. Dissertation, Universität Dortmund.
- Kolb, W. H. (1988): Acceptance. In: Gould, J. & Kolb, W. H. (Hrsg.): *A Dictionary of the Social Sciences* (4-5). New York: The Free Press.

- Korneck, F. & Heibel, T. (2002): *Bewertung des naturwissenschaftlichen Unterrichts an allgemeinbildenden Schulen aus der Sicht von Auszubildenden zur/zum MTA* (URL: <http://www.uni-frankfurt.de/fb13/didaktik/pagesK/imagesK/DPG2002.pdf>, online 1.6.2005).
- Korneck, F. & Heibel, T. (2003): Der naturwissenschaftliche Unterricht aus der Sicht von Auszubildenden. Eine Befragung von Auszubildenden zur/zum MTA. In: Pitton, A. (Hrsg.): *Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie* (314-316). Münster.
- Kotter, L. (1975): *Das Experiment im Chemieunterricht*. München: E. Strumberger.
- Krapp, A. (1992a): Konzepte und Forschungsansätze zur Analyse des Zusammenhangs von Interesse, Lernen und Leistung. In: Krapp, A. & Prenzel, M. (Hrsg.): *Interesse, Lernen und Leistung. Neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung* (9-52). Münster: Aschendorff.
- Krapp, A. (1992b): Das Interessenkonstrukt. Bestimmungsmerkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus der Sicht einer Person-Gegenstands-Konzeption. In: Krapp, A. & Prenzel, M. (Hrsg.): *Interesse, Lernen und Leistung. Neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung* (297-329). Münster: Aschendorff.
- Krapp, A. (1998): Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 44, 185-201.
- Krapp, A. (2002): Structural and dynamic aspects of interest development: theoretical considerations from an ontogenetic perspective. *Learning and Instruction*, 12 (4), 383-409.
- Krapp, A., Hidi, S. & Renninger, K. A. (1992): Interest, Learning and Development. In: Renninger, K. A., Hidi, S. & Krapp, A. (Hrsg.): *The Role of Interest in Learning and Development* (3-26). Hillsdale, NJ, Hove, London: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Krapp, A. & Köller, O. (2001): Interesse. In: Rost, D. (Hrsg.): *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (286-293). Weinheim, Beltz-PVU, 2. Auflage.
- Krüger, D. (2003): Entwicklungsorientierte Evaluationsforschung - Ein Forschungsrahmen für die Biologiedidaktik. In: Vogt, H., Krüger, D. & Unterbruner, U. (Hrsg.): *Erkenntnisweg Biologiedidaktik Beiträge auf der 5. Frühjahrsschule der Sektion Biologiedidaktik im VDBiolin Salzburg 2003* (7-24). Hannover: Campus Druck.
- Labas, Y., Gurskaya, N., Yanushevich, Y., Fradkov, A., Lukyanov, K. & Matz, M. (2002): Diversity and evolution of the green fluorescent protein family. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99 (7), 4256-4261.
- Lazarsfeld, P. F. & Henry, N. W. (1968): *Latent Structure Analysis*. New York, Atlanta, Geneva, Dallas, Palo Alto: Houghton Mifflin Company Boston.
- Leach, J. (2002): Students' Understanding of the Nature of Science and its Influence on Labwork. In: Psillos, D. & Niedderer, H. (Hrsg.): *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (41-48). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.

- Lee, N. (1978): Molecular Aspects of ara Regulation. In: Miller, J. H. & Reznikoff, W. S. (Hrsg.): *The Operon* (389-409). Cold Spring Harbor Laboratory.
- Lee, N., Gielow, W. O. & Wallace, R. G. (1981): Mechanism of araC autoregulation and the domains of two overlapping promoters, P<sub>c</sub> and PBAD in the L-arabinose regulatory region of Escherichia coli. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 78 (2), 752-756.
- Leibold, K. (1997): *Modelle, Modellbildung und Modelleinsatz. -untersucht am Beispiel des Energiestoffwechsels der Pflanzen*. Dissertation Universität Bayreuth.
- Leicht, W. H. (1978): Hochschulbegleitende Schulpraxis für die Biologie. In: Killermann, W. & Klautke, S. (Hrsg.): *Fachdidaktisches Studium in der Lehrerbildung Biologie* (149-169). München: Oldenbourg.
- Leutner, D. (1992): *Adaptive Lehrsysteme. Instruktionspsychologische Grundlagen und experimentelle Analysen*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Ley, M. (2002): *Übergang Schule - Hochschule. Klassifikation von Initiativen zur Förderung des naturwissenschaftlichen Nachwuchses*. Bonn: HRK u. KMK
- Lienert, G. A. (1969): *Testaufbau und Testanalyse*. Weinheim, Berlin, Basel: Julius Beltz, 3. Auflage.
- Lind, G., Kroß, A. & Mayer, J. (1998): *Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen im Unterricht* (URL: <http://blk.mat.uni-bayreuth.de/material/db/1/modul2.doc>, online 1.6.2005).
- Lobell, R. B. & Schleif, R. F. (1990): DNA Looping and Unlooping by AraC Protein. *Science*, 250 (26 October), 528-532.
- Löwe, B. (1984): Schülerinteressen zum Biologieunterricht und ihre Veränderbarkeit - eine empirische Untersuchung an Grund- und Realschülern. In: Hedewig, R. & Staeck, L. (Hrsg.): *Biologieunterricht in der Diskussion* (50-65). Köln. Aulis Verlag Deubner.
- Löwe, B. (1992): *Biologieunterricht und Schülerinteresse an Biologie*. Weinheim: Deutscher Studienverlag.
- Lowyck, J. & Elen, J. (1991): Wandel in der theoretischen Fundierung des Instruktionsdesigns. *Unterrichtswissenschaft*, 19 (3), 218-237.
- Lucke, D. (1995): *Akzeptanz. Legitimität in der "Abstimmungsgesellschaft"*. Opladen: Leske + Budrich.
- Lucke, D. (1998): Riskante Annahmen - Angenommene Risiken. Eine Einführung in die Akzeptanzforschung. In: Lucke, D. & Hasse, M. (Hrsg.): *Annahme verweigert. Beiträge zur soziologischen Akzeptanzforschung* (15-36). Opladen: Leske + Budrich.
- Lunetta, V. N. (1998): The School Science Laboratory: Historical Perspectives and Contexts for Contemporary Teaching. In: Fraser, B. J. & Tobin, K. J. (Hrsg.): *International Handbook of Science Education* (249-262), Part One. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Lykkesfeldt, G., Nielsen, M. & Lykkesfeldt, A. (1984): Placental steroid sulfatase deficiency: biochemical diagnosis and clinical review. *Obstetrics & Gynecology*, 64 (1), 49-54.



- Mahner, M. & Bunge, M. (2000): *Philosophische Grundlagen der Biologie*. Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hong Kong, London, Mailand, Paris, Sinagpur, Tokyot: Springer.
- Mandel, M. & Higa, A. (1970): Calcium-dependent bacteriophage DNA infection. *Journal of Molecular Biology*, 53, 159-162.
- Maniatis, T. (1982): *Molecular Cloning. A Laboratory Manual*. Cold Spring Harbour Laboratory.
- Matz, M. V., Lukyanov, K. A. & Lukyanov, S. A. (2002): Family of the green fluorescent protein: journey to the end of the rainbow. *BioEssays*, 24 (10), 953-959.
- Maxton-Küchenmeister, J. & Herrmann, R. (2003): Genlabor & Schule - eine Übersicht über Experimentierangebote zur Vermittlung von Gen- und Biotechnologie an Schulen. *BIOspektrum*, 9 (4), 382-385.
- Mayer, J. (2002): Biologieunterricht nach PISA. Standards, Qualitätsentwicklung und Evaluation des Unterrichts. In: Buchen, H., Horster, L., Pantel, G. & Rolff, H.-G. (Hrsg.): *Unterrichtsentwicklung und PISA (79-94)*. Stuttgart: RAABE Fachverlag für Bildungsmanagement.
- Mayer, R. E. (1992): Cognition and Instruction: Their Historic Meeting Within Educational Psychology. *The Journal of Educational Psychology*, 84 (4), 405-412.
- Mayring, P.(1997): *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim: Deutscher Studienverlag, 6. Auflage.
- McNemar, Q. (1963): *Psychological Statistics*. New York, London: John Wiley and Sons, 3. Auflage.
- MDL Information Systems (2004): *MDL® Chime* (URL: <http://www.mdl.com/products/framework/chime/index.jsp>, online 2.6.2005).
- Means, T., Jonassen, D. & Dwyer, F. (1997): Enhancing Relevance: Embedded ARCS Strategies Versus Purpose. *EducationalTechnology Research and Development*, 45 (1), 5-17.
- Meisert, A. (2004a): Wie kann Biologieunterricht geplant werden? In: Spörhase-Eichmann, U. & Ruppert, W. (Hrsg.) : *Biologie-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II (241-274)*. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Meisert, A. (2004b): Bioethik. In: Spörhase-Eichmann, U. & Ruppert, W. (Hrsg.): *Biologie-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II (226-240)*. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Merriënbour, J. J. v., Kirschner, P. A. & Kester, L.(2003): Taking the Load Off a Learner's Mind: Instructional Design for Complex Learning. *Educational Psychologist*, 38 (1), 5-13.
- Merrill, D. M. (1999): Instructional Transaction Theory (ITT): Instructional Design Based on Knowledge Objects. In: Reigeluth, C. M. (Hrsg.): *Instructional-Design Theories and Models Volume II (397-424)*. Mahwah, NJ, London: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Meulemann, H. (1994): Akzeptanz. In: Fuchs-Heinritz, W., Lautmann, R., Rammstedt, O. & Wienold, H. (Hrsg.): *Lexikon zur Soziologie (29)*. Opladen: Westdeutscher Verlag.

- Meyer, H. (1987): *Experimentelles Arbeiten im Biologieunterricht. Ergebnisse einer in Nordrhein-Westfalen durchgeführten Situationsanalyse*. Seelze - Velber: Erhard Friedrich.
- Meyer, H. (1989): *Unterrichtsmethoden. II: Praxisband*. Frankfurt/Main: Cornelsen Verlag Scriptor, 2. Auflage.
- Meyer, H. (1994): *Unterrichtsmethoden. I: Theorieband*. Frankfurt/Main: Cornelsen Verlag Scriptor, 6. Auflage.
- Meyer, H. (2003): *Leitfaden zur Unterrichtsvorbereitung*. Berlin: Cornelsen Verlag Scriptor. 12. Auflage.
- Millar, R. (1989): Constructive criticisms. *International Journal of Science Education*, 11, 587-596.
- Millar, R., Le Marechal, J.-F. & Tiberghien, A. (1999): "Mapping" the domain - varieties of practical work. In: Leach, J. & Paulson, A. (Hrsg.): *Practical Work in Science Education: Recent Research Studies* (33-59). Fredericksberg: Roskilde University Press.
- Miller, G. A. (1956): The magical number seven, plus or minus two: same limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63 (2), 81-97.
- Mills, C. E. (2001): Jellyfish blooms: are populations increasing globally in response to changing ocean conditions. *Hydrobiologia*, 451, 55-68.
- Mills, C. E. (2004): *Bioluminescence and other factoids about Aequorea, a hydromedusa* (URL: <http://faculty.washington.edu/cemills/Aequorea.html>, online 2.6.2005).
- Mitch, L. (2004): Database - Fixing broken genes. *Science*, 304 (9 April), 183.
- Mitchell, M. (1993): Situational Interest: Its Multifaceted Structure in the Secondary School Mathematics Classroom. *Journal of Educational Psychology*, 85 (3), 424-436.
- Mittelstraß, J. (Hrsg., 1995): *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie. Band 1. A - G*. Stuttgart: J.B. Metzler & Carl Ernst Poeschel Verlag.
- Moisl, F. (1988): Experimente. *Unterricht Biologie*, 12 (132), 4-10.
- Morin, P. A. & Smith, D. G. (1995): Nonradioactive Detection of Hypervariable Simple Sequence Repeats in Short Polyacrylamide Gels. *BioTechniques*, 19 (2), 223-228.
- Moschner, B. (2003): Wissenserwerbprozesse und Didaktik. In: Moschner, B., Kiper, H. & Kattmann, U. (Hrsg.): *PISA 2000 als Herausforderung - Perspektiven für Lehren und Lernen* (53-64). Baltmannsweiler: Schneider Hohengeren.
- Neber, H. & Köller, O. (2001): Entdeckendes Lernen. In: Rost, D. (Hrsg.): *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (115-120). Weinheim: Beltz-PVU, 2. Auflage.
- Nerdel, C. (2002): *Die Wirkung von Animation und Simulation auf das Verständnis von stoffwechselphysiologischen Prozessen*. Dissertation Christian-Albrechts-Universität, Kiel.
- Niedderer, H., Aufschaiter, S. v., Tiberghien, A., Haller, K., Hucke, L., Sander, F. & Fischer, H. (2002): Talking Physics in Labwork Contexts - A Category Based

- Analysis of Videotapes. In: Psillos, D. & Niedderer, H. (Hrsg.): *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (31-40). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Norusis, M. J. (1993): *SPSS for Windows Base System User's Guide Release 6.0*. Chicago: SPSS Inc.
- Nowak, J. D. (1988): Learning Science and the Science of Learning. *Studies in Science Education*, 15, 77-101.
- Ntombela, G. (1999): A marriage of inconvenience? School science practical work and the nature of science. In: Leach, J. & Paulson, A. (Hrsg.): *Practical Work in Science Education: Recent Research Studies* (118-133). Fredericksberg: Roskilde University Press.
- Obst-Kitzmüller, F. (2002): *Akzeptanz und Wirkung zusätzlicher Sportstunden in der Grundschule. Eine empirische Untersuchung zur Auswirkungen eines täglichen Schulsportunterrichts auf die motorische und psychosoziale Entwicklung und auf das Unfallgeschehen bei Grundschulkindern*. Berlin: dissertation.de - Verlag im Internet.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development, Hrsg., 2005): *Lernen für die Welt von morgen. Erste Ergebnisse von PISA 2003*. Paris: Elsevier.
- Oesterling, C. & Toprak, A. (2002): *Zweiter Evaluationsbericht des Schüler/innenlabors am Fachbereich Chemie/Pharmazie* (URL: <http://zope.verwaltung.uni-mainz.de/zq/projekte/schuellab/zweitereval>, online 1.6.2005).
- Ormö, M., Cubitt, A. B., Kallio, K., Tsien, R. Y. & Remington, J. S. (1996): Crystal Structure of the Aequorea victoria Green Fluorescent Protein. *Science*, 273 (Sep 6), 1392-1395.
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H. & Van Gerven, P. W. (2003): Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory. *Educational Psychologist*, 38 (1), 63-71.
- Palm, G. J. & Wlodawer, A. (1999): Spectral Variants of Green Fluorescent Protein. In: Conn, M. P. (Hrsg.): *Green Fluorescent Protein* (378-393). San Diego, London, Boston, New York, Sydney, Tokyo, Toronto: Academic Press.
- Parkhill, J., Dougan, G., James, K., Thomson, N., Pickard, D., Wain, J., Churcher, C., Mungall, K. & Bentley, S. (2001): Complete genome sequence of a multiple drug resistant Salmonella enterica serovar Typhi CT18. *Nature*, 413, 848-852
- PEI (Paul-Ehrlich-Institut, 2002): *Die Unterbrechung klinischer Gentherapie-Prüfungen in Deutschland nach einem Leukämiefall in Frankreich dient der ethischen Neubewertung und Anpassung der Patienteninformation*. Gemeinsame Mitteilung des Paul-Ehrlich-Instituts und der Bundesärztekammer.
- PEI (Paul-Ehrlich-Institut, 2003): *Entscheidung der Kommission Somatische Gentherapie: Einige der unterbrochenen Gentherapie-Studien mit retroviralen Vektoren können weitergeführt werden*. Gemeinsame Mitteilung des Paul-Ehrlich-Instituts und der Bundesärztekammer.
- Pekrun, R. (1988): *Emotion, Motivation und Persönlichkeit*. München, Weinheim: Psychologie Verlags Union.

- Perkins, D. N. & Unger, C. (1999): Teaching and Learning for Understanding. In: Reigeluth, C. M. (Hrsg.): *Instructional-Design Theories and Models Volume II* (91-114). Mahwah, NJ, London: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Perneger, T. V. (1998): What's wrong with Bonferroni adjustments. *British Medical Journal*, 316 (2), 1236-1238.
- Phizicky, E., Bastiaens, P. I., Snyder, M. & Fields, S. (2003): Protein analysis on a proteomic scale. *Nature*, 422 (13 March), 208-215.
- Pietsch, A. (1954): Grundsätzliches zur experimentellen Lehrform im Biologieunterricht. *Der Mathematisch-Naturwissenschaftliche Unterricht*, 7, 197-203.
- Pollock, E., Chandler, P. & Sweller, J. (2002): Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, 12 (1), 61-86.
- Popper, K. (1984): *Logik der Forschung*. Tübingen: J.C.B. Mohr (Paul Siebeck), 8. Auflage.
- Prasher, D. C., Eckenrode, V. K., Ward, W. W., Prendergast, F. G. & Cormier, M. J. (1992): Primary structure of the *Aequorea victoria* green-fluorescent protein. *Gene*, 111 (2), 229-233.
- Prenzel, M. (1988): *Die Wirkungsweise von Interesse*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Prenzel, M., Carstensen, C. H., Rost, J. & Senkbeil, M. (2002): Naturwissenschaftliche Grundbildung im Ländervergleich. In: Deutsches PISA-Konsortium (Hrsg.): *PISA 2000 - Die Länder der Bundesrepublik Deutschland im Vergleich* (191-248). Opladen: Leske + Budrich.
- Prenzel, M. & Krapp, A. (1992): Zur Aktualität der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung. In: Krapp, A. & Prenzel, M. (Hrsg.): *Interesse, Lernen und Leistung. Neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung* (1-8). Münster: Aschendorff.
- Prenzel, M. & Ringelband, U. (2001): Lernort Labor - neue Initiativen. In: Ringelband, U., Prenzel, M. & Euler, M. (Hrsg.): *Lernort Labor - Initiativen zur naturwissenschaft. Bildung zwischen Schule, Forschung u. Wirtschaft* (7-12). Kiel: IPN.
- Püttschneider, M. & Lück, G. (2004): Die Rolle des Animismus bei der Vermittlung chemischer Sachverhalte. *Chemkon*, 11 (4), 167-174.
- Rabino, I. (2004): Gene Therapy: Ethical Issues. *Theoretical Medicine*, 24, 31-58.
- Radinsky, J., Bouillion, L., Lento, E. M. & Gomez, L. M. (2001): Mutual benefit partnership: a curricular design for authenticity. *Journal of Curriculum Studies*, 33 (4), 405-430.
- Randler, C. & Bogner, F. X. (eingereicht): Pupils' interest before, during and after a curriculum dealing with ecological topics and its correlation with achievement. *Journal of Research in Science Education* (1-17).
- Regenbogen, A. & Meyer, U. (Hrsg., 1998): *Wörterbuch der philosophischen Begriffe*. Hamburg: Felix Meiner Verlag.

- Reiff, D. F., Thiel, P. R. & Schuster, C. M. (2002): Differential Regulation of Active Zone Density during Long-Term Strengthening of *Drosophila* Neuromuscular Junctions. *The Journal of Neuroscience*, 22 (21), 9399-9409.
- Reigeluth, C. M. (1999): What is Instructional-Design Theory and How Is It Changing? In: Reigeluth, C. M. (Hrsg.): *Instructional-Design Theories and Models, Volume II* (5-31). Mahwah, NJ, London: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Reinhardt, E. (1986): *Unterrichtsakzeptanz. Welches Lernen bevorzugen Schüler an berufsbildenden Schulen*. Darmstadt: Winklers Verlag/Gebrüder Grimm.
- Reinmann-Rothmeier, G. & Mandl, H. (2001): Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: Krapp, A. & Weidemann, B. (Hrsg.): *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (601-646). Weinheim: Beltz PVU, 4. Auflage.
- Renkl, A. & Köller, O. (2001): Träges Wissen. In: Rost, D. (Hrsg.): *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (717-720). Weinheim: Beltz-PVU, 2. Auflage.
- Renkl, A. & Mandl, H. (1995): Kooperatives Lernen: Die Frage nach dem Notwendigen und dem Ersetzbaren. *Unterrichtswissenschaft*, 23 (4), 292-300.
- Renninger, K. A. (1997): Individual Interest and Development: Implications for Theory and Practice. In: Maehr, M. L. & Pintrich, P. R. (Hrsg.): *Advances in Motivation and Achievement* (361-398). Greenwich, CT, London: Jai Press Inc.
- Rentsch, G. (1988): *Die Akzeptanz eines Schutzgebietes. Untersucht am Beispiel der Einstellung der lokalen Bevölkerung zum Nationalpark Bayerischer Wald*. Kallmünz, Regensburg: Verlag Michael Laßleben.
- Resnick, L. B. (1989): Introduction. In: Resnick, L. B. (Hrsg.): *Knowing, Learning, and Instruction. Essays in Honor of Robert Glaser* (1-24). Hillsdale, NJ, Hove, London: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Resnik, D. B. & Langer, P. J. (2004): Human Germline Therapy Reconsidered. *Human Gene Therapy*, 12 (11), 1449-1458.
- Rosenow, M. A., Huffman, H. A., Phail, M. E. & Wachter, R. M. (2004): The Crystal Structure of the Y66L Variant of Green Fluorescent Protein Supports a Cyclization-Oxidation-Dehydration mechanism for Chromophore Maturation. *Biochemistry*, 43, 4464-4472.
- Rost, J. (1996): *Lehrbuch Testtheorie, Testkonstruktion*. Göttingen: Verlag Hans Huber.
- Roth, W.-M. (1994): Experimenting in a Constructivist High School Physics Laboratory. *Journal of Research in Science Teaching*, 31 (2), 197-223.
- Runes, D. D. (Hrsg., 1983): *Dictionary of Philosophy*. New York: Philosophical Library.
- Runtenberg, C. (2001): *Didaktische Ansätze einer Ethik der Gentechnik. Produktionsorientierte Verfahren im Unterricht über die ethischen Probleme der Gentechnik*. Freiburg, München: Verlag Karl Alber.
- Saunders, W. L. & Dickinson, D. H. (1976): A comparison of community college students' achievement and attitude changes in a lecture-only and lecture-laboratory approach to general education. biological science courses. *Journal of Research in Science Teaching*, 16 (5), 459-464.

- Scharf, V. (1984): Zum Bildungsbeitrag von Experimenten im Chemieunterricht. *Der Chemieunterricht*, 15 (2), 13-28.
- Scharfenberg, F.-J., Bogner, F. X. & Klautke, S. (eingereicht): The suitability of control-groups for empirical control purposes: a cautionary story in science education research. *Journal of Research in Science Teaching*.
- Scharfenberg, F.-J. & Klautke, S. (2003): Das Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik an der Universität Bayreuth: Aufbau und Evaluation. In: Vogt, H., Krüger, D. & Unterbruner, U. (Hrsg.): *Erkenntnisweg Biologiedidaktik Beiträge auf der 5. Frühjahrsschule der Sektion Biologiedidaktik im VDBiol in Salzburg 2003* (25-46). Hannover: Campus Druck.
- Schavan, A. (2002): *Welche Schule wollen wir? PISA und die Konsequenzen*. Freiburg, Basel, Wien: Herder.
- Schenk, A. (2000): *Relevante Faktoren der Akzeptanz von Natur- und Landschaftsschutzmaßnahmen. Ergebnisse qualitativer Fallstudien*. St. Gallen.
- Schiefele, U. (1992): Interesse und Qualität des Unterrichts. In: Krapp, A. & Prenzel, M. (Hrsg.): *Interesse, Lernen und Leistung. Neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung* (85-122). Münster, Aschendorff
- Schiefele, U. & Köller, O. (2001): Intrinsische und extrinsische Motivation. In: Rost, D. (Hrsg.): *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (304-309). Weinheim: Beltz-PVU, 2. Auflage.
- Schiefele, U. & Rheinberg, F. (1997): Motivation and Knowledge Acquisition: Searching for Mediating Process. In: Maehr, M. L. & Pintrich, P. R. (Hrsg.): *Advances in Motivation and Achievement* (251-302). Greenwich, CT, London: Jai Press Inc.
- Schleif, R. (1992): DNA Looping. *Annual review of biochemistry*, 61, 199-223.
- Schlüter, K. (2000): Zwei Fallstudien zur Gentechnik und ihre Wirkung. In: Bayrhuber, H. & Unterbrunner, U. (Hrsg.): *Lehren und Lernen im Biologieunterricht* (80-93). Innsbruck, Wien, München: Studien-Verlag.
- Schmotz, W. (2001): Conceptual Change. In: Rost, D. (Hrsg.): *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (75-80). Weinheim, Beltz-PVU, 2. Auflage.
- Scholz, O., Thiel, A., Hillen, W. & Niederweis, M. (2000): Quantitative analysis of gene expression with an improved green fluorescent protein. *European Journal of Biochemistry*, 267, 1565-1570.
- Schöne-Seifert, B. (2002): Bioethik - zuständig für Streitfragen. Die Theorie des Argumentierens, Urteilens und Handelns. In: Verband Deutscher Biologen (Hrsg.): *Wohin die Reise geht ... Lebenswissenschaften im Dialog* (40-47). Weinheim: Wiley-VCH.
- Schweiger, W. & Brosius, H.-B. (1999): *Von der "Gentomate" zur Gentechnikakzeptanz. Eine Panelstudie zu Einstellungseffekten eines rollenden Genlabors an Gymnasien*. Seminar der Zentralen Informationsstelle, Umweltberatung Bayern 15. Neuherberg: GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit.

- Shapere, D. (1995): On the Methods of Science. In: Leplin, J. (Hrsg.): *The Creation of Ideas in Physics* (13-28). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Shimomura, O. (1998): The Discovery of Green Fluorescent Protein. In: Chalfie, M. & Kain, S. (Hrsg.): *Green Fluorescent Protein, Properties, Applications, and Protocols* (3-15). New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto: WILEY-LISS.
- Shimomura, O., Johnson, F. H. & Saiga, Y. (1962): Extraction, Purification and Properties of Aequorin, a Bioluminescent Protein from the Luminous Hydromedusan Aequorea. *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, 59, 223-239.
- Siedentop, W. (1972): *Methodik und Didaktik des Biologieunterrichts*. Heidelberg: Quelle & Meyer, 4. Auflage.
- Sigma (2002): *Sigma GenElute Plasmid Miniprep Kit*. Technical Bulletin MB 665.
- Small, R. V. & Gluck, M. (1994): The Relationship of Motivational Conditions to Effective Instructional Attributes: A Magnitude Scaling Approach. *Educational Technology*, 34 (8), 33-40.
- Soisson, S. M., MacDougall-Shackleton, B., Schleif, R. F. & Wolberger, C. (1997): Structural Basis for Ligand-Regulated Oligomerization of AraC. *Science*, 276 (18 April), 421-425.
- Spink, J. & Geddes, D. (2004): Gene Therapy Progress and Prospects: Bringing gene therapy into medical practice: the evolution of international ethics and the regulatory environment. *Gene Therapy*, 11, 1611-1616.
- Stark, R., Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (2002): Conditions and effects of example elaboration. *Learning and Instruction*, 12 (1), 39-60.
- Starosta, B. (1990): Erkundungen der belebten Natur nach dem Prinzip des entdeckenden Lernens - didaktische Konzepte und Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. In: Killermann, W. & Staeck, L. (Hrsg.): *Methoden des Biologieunterrichts* (316-327). Köln, Aulis Verlag Deubner.
- Steiner, G. (2001): Lernen und Wissenserwerb. In: Krapp, A. & Weidemann, B. (Hrsg.): *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (137-205). o.O.: Beltz PVU, 4. Auflage.
- Stribley, J. M., Rehman, K. S., Niu, H. & Christman, G. M. (2002): Gene therapy and reproductive medicine. *Fertility and Sterility*, 77 (4), 645-657.
- StUK (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht u. Kultus, 2000): *Schulordnung für die Gymnasien in Bayern*. GSO. München: Verlag J. Maiss. 18. Auflage.
- StUKWK (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft u. Kunst, 1990): *Lehrplan für das bayerische Gymnasium*. KWMBI, So.-Nr. 3, 125-471.
- StUKWK (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft u. Kunst, 1991): *Lehrplan für das bayerische Gymnasium, Fachlehrplan Biologie*. KWMBI, So.-Nr. 7, 1125-1172.
- Sweller, J., Merrienboer v., J. J. & Paas, F. G. (1998): Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10 (3), 251-296.

Tegen, C. (2004): Erleben - Fragen - Wissen. In: Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (Hrsg.): *Nah dran. Forschen in den Schülerlaboren der Helmholtz-Gemeinschaft* (6). Bonn: Ritterbach Medien GmbH.

Tiberghien, A. (1998): *A European analysis of labwork practice in science* (URL: [http://www.afd.unibe.ch/texte/ascona\\_98/Download/4.6\\_tiberghien.pdf](http://www.afd.unibe.ch/texte/ascona_98/Download/4.6_tiberghien.pdf), online 1.6.2005).

Timmes, A., Rodgers, M. & Schleif, R. (2004): Biochemical and Physiological Properties of the DNA Binding Domain of AraC Protein. *Journal of Molecular Biology*, 340, 731-738.

Tobias, S. (1994): Interest, Prior Knowledge, and Learning. *Review of Educational Research*, 64 (1), 37-54.

Tobin, K. (1990): Research on Science Laboratory Activities: In Pursuit of Better Questions and Answers to Improve Learning. *School Science and Mathematics*. 90 (5), 403-418.

Todt, E. (1996): Interessen und Einstellungen gegenüber aktuellen Themen der Biologie. Möglichkeiten der Kooperation mit Biologen. *Schule und Beratung*, 6, 27-36.

Todt, E. & Götz, C. (1997): Hoffnungen und Befürchtungen von Jugendlichen gegenüber der Gentechnik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (2), 15-22.

Todt, E. & Götz, C. (1998): Interesse von Jugendlichen an der Gentechnologie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4 (1), 3-11.

Tromans, A., (2004): Bright future for GFP. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 5 (November), 865.

Tsien, R. Y., (1998): The green fluorescent protein. *Annual Review of Biochemistry*. 67, 509-544.

Tsien, R. & Prasher, D. (1998): Molecular Biology and Mutation of Green Fluorescent Protein. in: Chalfie, M. & Kain, S. (Hrsg.), *Green Fluorescent Protein, Properties, Applications, and Protocols* (97-118). New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto:WILEY-LISS.

Tutschek, R. (2000): Was einen Schulversuch zu einem Experiment macht. Zur Bedeutung der Fragestellung im experimentellen Biologieunterricht. *Unterricht Biologie*, 24 (251), 52.

U.S. FDA (U.S. Food and Drug Administration 2003): *FDA places temporary halt on gene therapy trials using retroviral vectors in blood stem cells* (URL: [www.fda.gov/bbs/topics/ANSWERS/2003/ANS01190.html](http://www.fda.gov/bbs/topics/ANSWERS/2003/ANS01190.html), online:2.6.2005).

U.S. FDA (U.S. Food and Drug Administration 2004): Center for Biologics Evaluation and Research FY 2003 *Annual Report* (URL: <http://www.fda.gov/cber/inside/annrpt.htm>, online:2.6.2005).

Upmeier zu Belzen, A (1998): *Der Zusammenhang zwischen Biologieunterricht und biologieorientiertem Interesse in einer 6. Klasse eines Gymnasiums. Unterrichtsbeobachtung, Schüler- und Lehrerbefragung*. Frankfurt am Main, Berlin, Bern, New York, Paris, Wien: Peter Lang.



- Urban, D. (2001): Wie stabil sind Einstellungen zur Gentechnik. In: Hampel, J. & Renn, O. (Hrsg.): *Gentechnik in der Öffentlichkeit. Wahrnehmung und Bewertung einer umstrittenen Technologie* (28-55). Frankfurt, New York: Campus.
- Urhahne, D. (2002): *Motivation und Verstehen. Studien zum computergestützten Lernen in den Naturwissenschaften*. Münster; New York, München, Berlin: Waxmann.
- Urhahne, D. & Krombass, A. (2002): Interesse und Motivation für ein Datenbanksystem zur Biodiversität. In: Vogt, H. & Retzlaff-Fürst, C. (Hrsg.): *Erkenntnisweg Biologiedidaktik Beiträge auf der 4. Frühjahrsschule der Sektion Biologiedidaktik im VDBiol in Rostock-Warnemünde – 2002* (11-26). Rostock, Kassel: Universitätsdruckerei Rostock
- Urhahne, D., Krombass, A. & Harms, U. (2003): Quantitative und qualitative Evaluation des instruktionalen Designs eines Informationssystems zur Biodiversität. In: Bauer, A., Bayrhuber, H., Bittner, A., Bögeholz, S., Gehlhaar, K.-H., Harms, U., Horn, F., Hößle, C., Kattmann, U., Krüger, D., Lehnert, H.-J., Keiner, K., Lude, A., Mayer, J., Prechtel, H., Retzlaff-Fürst, C., Sandmann, A., Schlüter, K., Schmitt-Schersoi, A., Upmier zu belzen, A., Vogt, H & Ziemek, H.-P. (Hrsg.): *Entwicklung von Wissen und Kompetenzen im Biologieunterricht. Internationale Tagung der Sektion Biologiedidaktik im VDBiol, Berlin, 14. bis 19. Sept. 2003* (193-196). Kiel:IPN.
- Urschler, I. (1970): Forschungsversuch und illustrativer Versuch. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik, Chemie, Biologie*, 1 (2), 81-82.
- Valdes-Flores, M., Kofman-Alfaro, S. H., Jimenez Vaca, A. L. & Cuevas-Covarrubias, S. (2000): A Novel Partial Deletion of Exons 2-10 of the STS Gene in Recessive X-Linked Ichthyosis. *The Journal of Investigative Dermatology*, 114 (3), 591-593.
- Visser, J. & Keller, J. M. (1990): The clinical use of motivational messages: an inquiry into the validity of the ARCS model of motivational design. *Instructional Science*, 19, 467-500.
- Vogelstein, B. & Gillespie, D. (1978): Preparative and analytical purification of DNA from agarose. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 76 (2), 615-619.
- Vogt, H. (1998): Zusammenhang zwischen Biologieunterricht und Genese von biologieorientiertem Interesse. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4 (1), 13-27.
- Wagenschein, M. (1962): Erwägungen über das Exemplarische Prinzip im Biologieunterricht. *Der Mathematisch-Naturwissenschaftliche Unterricht*, 15, 1-9.
- Ward, W. W. (1998): Biochemical and Physical Properties of Green Fluorescent Protein. In: Chalfie, M. & Kain, S. (Hrsg.): *Green Fluorescent Protein, Properties, Applications, and Protocols* (45-75). New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto: WILEY-LISS
- Ward, W. W., Cody, C. W., Russell, H. C. & Cormier, M. J. (1980): Spectrophotometric Identity of the Energy Transfer Chromophores in Renilla and Aequorea Green Fluorescent Proteins. *Photochemistry and Photobiology*, 31, 611-615.

- Weiber, H., Zwacka, R. & Herr, I. (2004a): Isolierung von DNA und RNA. In: Wink, M. (Hrsg.): *Molekulare Biotechnologie. Konzepte und Methoden* (173-176). Weinheim: Wiley-VCH.
- Weiber, H., Zwacka, R. & Herr, I. (2004b): Chromatographie und Elektrophorese von Nucleinsäuren. In: Wink, M. (Hrsg.): *Molekulare Biotechnologie. Konzepte und Methoden* (167-172). Weinheim: Wiley-VCH.
- Weinburgh, M. (1995): Gender differences in student attitudes towards science: A Meta-Analysis of the literature from 1970 to 1991. *Journal of Research in Science Teaching*, 32 (4), 387-398.
- Weise, G. (1975): *Psychologische Leistungstests*. Band 1. Göttingen, Toronto, Zürich: Verlag für Psychologie, Dr. C.J. Hogrefe.
- Weizsäcker, C. F. v. (1976): Das Experiment. In: Weizsäcker, C. F. v. (Hrsg.): *Zum Weltbild der Physik* (169-183). Stuttgart: S.Hirzel.
- Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niedderer, H., Paulsen, A., Robinault, K. & Aufschnaitter, S. v. (1998): Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden. - Ergebnisse einer europäischen Umfrage -. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4 (4), 29-44.
- Weniger, J. (1971): Über das methodische Vorgehen in den empirischen Wissenschaften und in den empirischen Unterrichtsfächern. *Der Chemieunterricht*, 2 (1), 82-91.
- Westermann, B. & Neupert, W. (2000): Mitochondria-targeted green fluorescent proteins: convenient tools for the study of organelle biogenesis. In: *Yeast*, 16 (15), 1421-1427.
- Westphalen, K. (1980): *Praxisnahe Curriculumentwicklung. Eine Einführung in die Curriculumreform am Beispiel Bayerns*. Donauwörth: Ludwig Auer, 8. Auflage.
- White, R. T. (1996): The link between the laboratory and learning. *International Journal of Science Education*, 18 (7), 761-774.
- Wiehler, J. (2001): *Wechselwirkungen zwischen Chromophor und Proteinmatrix in den autofluoreszierenden Proteinen GFP und drFP583 (DsRed)*. Dissertation, Ludwig-Maximilian-Universität München.
- Wild, E., Hofer, M. & Pekrun, R. (2001): Psychologie des Lernens. in: Krapp, A., Weidemann, B. (Hrsg.): *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (207-270). Weinheim: Beltz PVU, 4. Auflage.
- Wilde, M. (2004): *Biologieunterricht im Naturkundemuseum im Spannungsfeld zwischen Instruktion und Konstruktion. - eine empirische Untersuchung zu kognitiven und affektiven Lerneffekten (am Beispiel des Umweltschutz-Informationszentrums Lindenhof in Bayreuth)*. Dissertation, Universität Bayreuth.
- Wilke, H. (1995): *Untersuchungen zur stärkeren Ausprägung des Physikverständnisses und der Aneignung physikalischen Wissens durch die Schüler durch den Einsatz von offen gestalteten Schülerexperimenten*. Manuskript
- Williams, D. A. & Baum, C. (2003): Gene Therapy - New Challenges Ahead. *Science*, 302 (17 October), 400-401.

- Winnacker, E.-L., Rendtorff, T., Hepp, H., Hofschneider, P. H. & Korff, W. (2002): *Gentechnik: Eingriffe am Menschen. Ein Eskalationsmodell zur ethischen Bewertung. Technik-Theologie-Naturwissenschaften an der LMNU-München, Band 7*. München: Herbert Utz Verlag. 4. Auflage.
- Wisniewski, H. (1994): *Einsatzmöglichkeiten, kognitive Effizienz und emotionale Wirkung ausgewählter Schulfernsehsendungen im Biologieunterricht der Realschule*. München: Münchner Schriften zur Didaktik der Biologie, Band 9.
- Woolnough, B. & Allsop, T. (1985): *Practical Work in Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Yager, R. E., Engen, H. B. & Snider, B. C. (1969): Effects of the Laboratory and Demonstration Methods upon the Outcomes of Instruction in Secondary Biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 6 (5), 76-86.
- Yang, F., Moss, L. G. & Philipps, G. N. J. (1996): The molecular structure of green fluorescent protein. *Nature Biotechnology*, 14 (10), 1246-1251.
- Yu, Y. A., Oberg, K., Wang, G. & Szalay, A. A. (2003): Visualization of molecular and cellular events with green fluorescent proteins in developing embryos: a review. *Luminescence*, 18, 1-18.
- Zhang, S., Ma, C. & Chalfie, M. (2004): Combinatorial Marking of Cells and Organelles with Reconstituted Fluorescent Proteins. *Cell*, 119 (October 1), 137-144.
- Zhou, H.-S., Liu, D.-P. & Liang, C.-C (2004): Challenges and Strategies: The Immune Response in Gene Therapy. *Medicinal Research Reviews*, 24 (6), 748-761.
- Ziemek, H.-P. & Graf, D. (2005): Verwendung biologischer Fachbegriffe in Kleingruppensituationen bei der Bearbeitung biologischer Themen. In: Bayrhuber, H., Bögeholz, S., Graf, D., Hammann, M., Harms, U., Hößle, C., Krüger, D., Langlet, J., Lude, A., Mayer, J., Riemeier, T., Sandmann, A., Schlüter, K., Unterbruner, U., Upmeyer zu Belzen, A. & Ziemek, H.-P. (Hrsg.): *Bildungsstandards Biologie Internationale Tagung der Sektion Biologiedidaktik im VDBiol, Bielefeld, 27.2. bis 4.3. 2005* (187). Kiel: IPN.
- Ziemek, H.-P., Mayer, J. & Keiner, K. (2003): Der Zusammenhang von epistemologischen Überzeugungen und naturwissenschaftlichen Problemlöseprozessen bei Schülern im Biologieunterricht. In: Bauer, A., Bayrhuber, H., Bittner, A., Bögeholz, S., Gehlhaar, K.-H., Harms, U., Horn, F., Hößle, C., Kattmann, U. Krüger, D., Lehnert, H.-J., Keiner, K., Lude, A., Mayer, J., Prechtel, H., Retzlaff-Fürst, C., Sandmann, A., Schlüter, K., Schmitt-Schersoi, A., Upmeyer zu belzen, A., Vogt, H & Ziemek, H.-P. (Hrsg.): *Entwicklung von Wissen und Kompetenzen im Biologieunterricht. Internationale Tagung der Sektion Biologiedidaktik im VDBiol, Berlin, 14. bis 19. Sept. 2003* (25-28). Kiel: IPN.
- Zimmer, M. (2002): Green Fluorescent Protein (GFP): Applications, Structure, and Related Photophysical Behaviour. *Chemical Reviews*, 102, 759-781.
- Zöfel, P. (2002): *Statistik verstehen. Ein Begleitbuch zur computergestützten Anwendung*. München, Boston, San Franzisko, Harlow, Don Mills, Sydney, Mexico City, Madrid, Amsterdam: Addison-Wesley.
- Zülicke, F. (1994): *Human-Gentechnik, Naturteleologie und Ethik. Moralisch-ethische Probleme von reproduktionsmedizin und Human-Gentechnik*. Frankfurt am Main, Berlin, Bern, New York, Paris, Wien: Peter Lang.



**Anhang 1: Überblick über deutsche Schülerlabore mit einem Bezug zur Bio- und/oder Gentechnik (veränd. nach Maxton-Küchenmeister 2004 und GSF 2004)**

Hintergrund grau Evaluation; Kursivdruck: Kostenbeitrag der Schüler;

Träger: F Forschungseinrichtung, FH Fachhochschule, M Museum, ST Staatliche Einrichtung, U Unternehmen, UNI Universität, V Verein;

Zielgruppe: E Erwachsene, J Jedermann/frau S Schüler, eventuell auf Jahrgangsstufe eingegrenzt;

Dauer: -s. –stündig; -t. –täglich, -w. –wöchig; -j. –jährig; Lehrperson: L Lehrer, eventuell eingegrenzt, W Wissenschaftler, ST Studenten

Labor	Träger	Zielgruppe	Dauer	Lehrperson	Unterrichtsbezug
Schülerlabor Novartis Basel	U	S (11-13), E	Eint.	W	Voraussetzen von Grundkenntnissen
<i>Gläsernes Labor Berlin - Buch</i>	<i>U</i>	<i>S (10. – 13)</i>	<i>Halbt.</i>	<i>W</i>	-
NatLab FU Berlin	UNI	S	Eint.	L, ST	+, aber lehrerabhängig
Alfried Krupp-Schülerlabor Bochum	UNI	S	Halb-/dreit.	W	-
Schülerlabor am Forschungszentrum Borstel	F	S	Halb-/eint.	W	-
Biotechnologisches Schülerlabor Braunschweig	F; ST; UNI	S	Halb-bis dreit.	L (Gym.)	Vorbereitungshilfen für Lehrer
Gläsernes Labor am Deutschen Hygiene-Museum	M	S (10 – 13)	Halb-/eint.	W	-
<i>Genlabor Universität Erlangen</i>	<i>UNI</i>	<i>S, J</i>	<i>Halbt.</i>	<i>W</i>	-
Labor FH Flensburg	FH	S	Ein- bis zweit.	W	-, aber Lehrerkurse
Genomix - Biotechnologiepraktikum für Schüler im Rhein / Maingebiet	U	S (12./13.)	Halbt.	W	-
<i>XLAB Göttingen e.V.</i>	<i>V</i>	<i>S (ab 16 J.)</i>	<i>Ein-, zwei-, mehrt.</i>	<i>W</i>	-
<i>Genlabor des Forschungsverbundes Mecklenburg-Vorpommern e.V.</i>	<i>V</i>	<i>S (9. bis 13.), J</i>	<i>Einw.</i>	<i>W</i>	-
<i>Naturwissenschaftliches Zentrum am Landesinstitut für Lehrerbildung und Schulentwicklung Hamburg</i>	<i>ST</i>	<i>S</i>	<i>Halb-, eint., einw.</i>	<i>L</i>	-
Life-Science Lab der Technologiepark Heidelberg GmbH	U	S (ab 8., Selbstbewerbung)	Einj.	W	-
Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt (FTU) des Forschungszentrums Karlsruhe.	U	S (11. - 13.)	Ein- bis mehrt.	W	Absprache mit den Lehrern
<i>Ausbildungs- und Informationslabor des Kölner PUB (Publikum und Biotechnologie)</i>	<i>V</i>	<i>S (ab 10.)</i>	<i>Eint.</i>	<i>W</i>	<i>Absprache mit den Lehrern</i>
NaT-working Schüler/innenlabor der Johannes Gutenberg-Universität Mainz	UNI	S (ab 11.)	Eint.	W	+
<i>Besucherlabor im Deutschen Museum</i>	<i>M</i>	<i>S, E, J</i>	<i>Halbt.</i>	<i>W</i>	-
<i>Regensburger Experimentierlabor</i>	<i>UNI</i>	<i>S (12. / 13.), J</i>	<i>Halb.</i>	<i>W</i>	-
Mach-Mit Labor der Universität des Saarlandes	UNI	S	Halbt.	W	-
<i>Zentrum für Molekularbiologie der Pflanzen, Universität Tübingen und Schullabore und Oberschulamt Tübingen</i>	<i>UNI</i>	<i>S, J</i>	<i>Zweit.</i>	<i>W</i>	-
BayLab und Publikumlabor der Molekularbiologie, Fuhlrott Museum Wuppertal	U	S (11. – 13.)	Halb-/ganzt.	W	-
<i>Gläsernes Labor der GSF</i>	<i>F</i>	<i>S (12./13., nur LK Biologie)</i>	<i>Eint.</i>	<i>W</i>	<i>Lehrerabh.</i>
NUGI Netzwerk: S1-Labor-Schulen	UNI, U, ST	S	Lehrerabh.	L	+

**Anhang 2: Lehrplanrelevantes Vorwissen des Projekttages: Auszüge aus dem Lehrplan (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst 1991, S.1159)**

ff.), keine Kürzungen bei der Einführung des 5-stündigen Leistungskurses (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst 1993, S. 423), *kursiv abgeleitete Lerninhalte*:

Bakterien und Viren als genetische Forschungsobjekte	Wiederholung von Grundlagen (vgl. B 9.2)
- Transformation	Schlussfolgerungen aus den Experimenten von Griffith und Avery <i>moderne Definition</i>
- Konjugation	Aufzeigen der Bedeutung von Plasmiden für die Rekombination <i>chromosomale und Plasmid-DNA bei Bakterien, Notwendigkeit zur Erkennung von übertragenen Eigenschaften, also Selektion über entsprechende Bedingungen, Bsp. über Antibiotikaresistenz</i>
Nukleinsäuren als Speicher der genetischen Information	Erläutern der Bausteine und des Bauprinzips mit Hilfe von Symbolen
- Watson-Crick-Modell der DNS	Hydrolyse von Nukleinsäuren und Nachweis ihrer Bestandteile; Unterschiede zur RNS
- semikonservativer Replikationsmechanismus	Bedeutung der komplementären Basenpaarung
Molekulare Wirkungsweise der Gene	
- Bauprinzip und Bedeutung der Proteine	Modellhafte Darstellung von Aminosäuresequenz und räumlicher Struktur <i>Bedeutung der Tertiärstruktur für die Funktion von Eiweißen</i>
- Genetischer Code und Proteinbiosynthese: Transkription, Translation	Erläutern des Ablaufs;
- Ausprägung von Merkmalen	Ableiten des molekularbiologischen Genbegriffs <i>Unterschiede bei pro- und eukaryotischen Genen, unterschiedliche Regulationssequenzen</i>
- Regulation der Genaktivität	Schematische Darstellung des Jacob-Monod-Modells zur Induktion der Enzymsynthese <i>i.d.R. neg. Kontrolle über Inhibitor; event. auch pos. Kontrolle über Aktivator (Ara-Operon)</i>
Aspekte der Gentechnologie	
- künstliche Neukombination genetischer Information bei Bakterien	Vereinfachte Darstellung des Prinzips der Gewinnung von Hybridplasmiden, der Klonierung, Analyse und Expression an einem Beispiel <i>Restriktionsenzyme und ihre Bedeutung für die Gentechnik für die Ligation von rekombinierten Plasmiden, evt. Restriktionskartierung, Transformation und Selektion der entsprechenden Rekombinanten, Besonderheiten eines Expressionsplasmids</i>
- Anwendungsmöglichkeiten bei Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren	Erörtern der Chancen und Risiken anhand ausgewählter Beispiele <i>Beispiele nicht bekannt</i>

### Anhang 3: Befragung von Gymnasiallehrern der Fakultates Religion (kath./ev.) und Ethik im Rahmen der Lehrerfortbildung „Molekularbiologische Experimente – ethische Bewertung“

Am 24.6.2004 fand im Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik der Universität Bayreuth eine Fortbildungsveranstaltung statt, in deren Rahmen die ethische Komponente des Experimentalunterrichts im Lernort Labor Gymnasiallehrern der Fakultates Religion (kath./ev.) und Ethik vorgestellt wurde. Im Anschluss daran wurden die Lehrer dazu wie folgt befragt (Rating-Skala mit folgenden Antwortmöglichkeiten: Bitte bewerten Sie die folgenden Aussagen: Diese Aussage stimmt völlig (5) / ziemlich (4) / teils-teils (3) / wenig (2) / gar nicht (1) / kann ich nicht beurteilen (0)):

	Die heute vorgestellte ethische Komponente des Experimentalunterrichts ist eine Möglichkeit, Schüler für ethische Fragen
1.1	- zu sensibilisieren.
1.2	- zu interessieren.
	Durch den Unterricht werden Lerninhalte aus dem Lehrplan Religion kath. <input type="checkbox"/> / ev. <input type="checkbox"/> / Ethik <input type="checkbox"/>
2.1	- aktualisiert.
2.2	- wiederholt.
2.3	- vertieft.

Ergebnisse:  
Deskriptive Statistiken

		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Item 1.1	kath. Religion	7	3,14	,690	2	4
	ev. Religion	4	3,50	,577	3	4
	Ethik	2	4,50	,707	4	5
	Gesamt	13	3,46	,776	2	5
Item 1.2	kath. Religion	7	3,14	1,069	2	4
	ev. Religion	4	3,50	1,732	2	5
	Ethik	2	4,00	,000	4	4
	Gesamt	13	3,38	1,193	2	5
Item 2.1	kath. Religion	7	3,29	1,113	2	5
	ev. Religion	4	4,25	1,500	2	5
	Ethik	2	4,00	1,414	3	5
	Gesamt	13	3,69	1,251	2	5
Item 2.2	kath. Religion	7	3,14	1,069	1	4
	ev. Religion	4	2,75	,957	2	4
	Ethik	2	4,00	1,414	3	5
	Gesamt	13	3,15	1,068	1	5
Item 2.3	kath. Religion	7	3,29	,488	3	4
	ev. Religion	4	4,25	1,500	2	5
	Ethik	2	4,00	1,414	3	5
	Gesamt	13	3,69	1,032	2	5

Unabhängig von der Fakultas schätzen die Lehrkräfte die ethische Komponente des Unterrichts so ein, dass sie Schüler im Bereich zwischen „teils-teils“ bis „ziemlich“ für ethische Fragen sensibilisieren und interessieren kann. Lerninhalte aus den Lehrplänen der betroffenen Fächer werden mit vergleichbarer Einschätzung aktualisiert, wiederholt und vertieft.

#### Anhang 4: Kurzer Überblick über das experimentelle Modul „Der Genetische Fingerabdruck“

Das Modul II „Der Genetische Fingerabdruck“ ist im Rahmen der vorgestellten Studie nur im Hinblick auf die Subtests Akzeptanz und Interesse von Bedeutung. Die Schüler, die dieses Modul durchgeführt haben wurden ebenfalls mit beiden Subtests befragt. Die Probanden wurden in die untersuchungstechnische Analyse mit einbezogen (vgl. Vorbemerkungen zu Anh. 41 und 52). Die eigentlichen Ergebnisse sind jedoch nicht Inhalt der vorliegenden Untersuchung.

Das Modul bezieht sich primär auf folgenden Lehrplaninhalt (StUKWK1991, S.1159 ff.).

- Gendiagnostik und Eingriffe in den Genbestand beim Menschen	Eingehen auf das Humangenom-Projekt; Ausblick auf gentherapeutische Möglichkeiten und die damit verbundene Problematik
---	--

Daneben werden weitere Lerninhalte aus dem vorherigen Unterricht aufgegriffen, wiederholt und vertieft (bspw. Nukleinsäuren als Speicher der genetischen Information, speziell der semikonservative Replikationsmechanismus im Zusammenhang mit der Polymerase-Kettenreaktion, entsprechendes gilt für das Bauprinzip und die Bedeutung der Proteine)

Das Modul umfasst folgende Experimente:

1. Isolierung des menschlichen Erbguts aus Schleimhautzellen;
2. Polymerase-Kettenreaktion (PCR) mit einem Minisatellitensystem;
3. Durchführung und Auswertung der Agarose-Gelelektrophorese zur Auftrennung der Erbgut-Proben.

Die ethische Reflektionsphase greift das Handeln der Schüler auf und führt zu einer Besprechung und Bewertung insbesondere der Präimplantationsdiagnostik (PID) und deren ethisch-moralischen Konsequenzen.

Grundlage des Experimentalunterrichts sind die folgenden Grobziele und Lerninhalte

Grobziel 1	Überblick über den Aufbau des menschlichen Genoms
Lerninhalte	- Einteilung in transkribierte und nicht transkribierte Bereiche; - Unterscheidung von codierenden und nicht codierenden Sequenzen anhand von Beispielen; - Satelliten-DNA: repetitive Sequenzen mit unterschiedlicher Länge der Wiederholungssequenz, Vorkommen und Einteilung
Grobziel 2	Überblick über Eigenschaften des Minisatelliten D1S80
Lerninhalte	- Lage und Aufbau: am Ende des Chromosoms 1, repetitive Wiederholungssequenz von 16 bp, unterschiedliche oder gleiche Anzahl der Wiederholungen - unterschiedliche Frequenz der verschiedenen Allele in Deutschland: Berechnung der

	Häufigkeit in der Bevölkerung. - Eignung als System für einen genetischen Fingerabdruck: polymorph, nicht codierend, kurzer DNA-Abschnitt
Grobziel 3	Kenntnis der einzelnen Vorgänge und ihrer jeweiligen Bedeutung bei der Polymerase-Kettenreaktion:
Lerninhalte	- Voraussetzungen für die Durchführung einer PCR: isolierte Zielsequenz, Herstellung spezifischer Startermoleküle (Primer), Enzym DNA-Polymerase, richtige Reaktionsbedingungen: Puffer-Lösung (pH-Wert und Salzkonzentrationen), Thermocycler: gesteuerte Abfolge der Reaktionsschritte; - Teilvorgänge der PCR: 1. Denaturierung der Zielsequenz: Herstellung von Einzelsträngen, 2. Anlagern der Primer: Voraussetzung für die Wirksamkeit der DNA-Polymerase, 3. Neusynthese des komplementären Strangs durch die DNA-Polymerase; - Zyklische Wiederholung der Teilvorgänge: Bildung der Produkte abhängig vom abgelaufenen Zyklus
Grobziel 4	Überblick über die Möglichkeiten zur praktischen Anwendung der Polymerase-Kettenreaktion
Lerninhalte	- Definition des Begriffs Genetischer Fingerabdruck: Typisierung des Erbguts eines Individuums; - Anwendungsmöglichkeiten in der Forensik: Bestätigung oder Ausschluss eines Verdachts gegenüber einem Individuum; - Anwendungen außerhalb der Forensik: Beispiele aus den Bereichen Abstammungsgutachten und Familienanalyse, Lebensmittelanalyse, Paläobiologie, Evolution und medizinische Diagnostik
Grobziel 5	Fähigkeit, anhand von vorgegebenen Versuchsanleitungen und unter der Anleitung des Kursleiters Experimente in Gruppen selbständig durchzuführen
Lerninhalte	Versuchsanleitungen zu folgenden Experimenten: - Mini-Präparation menschlicher DNA aus Mund-Schleimhautzellen; - Polymerase-Kettenreaktion des Minisatelliten D1S80 - Agarose-Gelelektrophorese von DNA-Proben
Grobziel 6	Kenntnis der einzelnen Vorgänge und ihrer jeweiligen Bedeutung bei der Isolierung von menschlicher DNA:
Lerninhalte	- Isolierung aus Mund-Schleimhautzellen: ausreichende Zellzahl notwendig; - Lyse der Zellmembran durch stark alkalische Bedingungen: Hydrolyse der vorhandenen chemischen Bindungen; - Neutralisation des Lysats: Fällung der vorhandenen Proteine; - Zentrifugation des Lysats: Gewinnung der löslichen Inhaltsstoffe; - Affinitätschromatographie zur Anreicherung und Gewinnung der DNA über Ionenbindungen zum Säulenmaterial.
Grobziel 7	Bewusstsein für die Bedeutung der Agarose-Gelelektrophorese in der DNA-Analytik
Lerninhalte	- Überblick über den Aufbau einer Gelelektrophorese-Apparatur: Elektroden, Pufferkammer, Gelträger, Gelkämme, Gleichspannungsquelle; - Einblick in die Funktionsweise einer Gelelektrophorese-Apparatur: Wanderung von geladenen Teilchen zur entgegengesetzt gepolten Elektrode; - Überblick über die physikalisch-chemische Grundlage bei der Trennung von DNA-Molekülen: negative Ladungen an den Phosphatgruppen bedingen eine Wanderung zum (+)-Pol, Voraussetzung richtige Pufferbedingungen; - Einblick in den Bau und die Wirkungsweise der Agarose: Polysaccharid aus Braunalgen mit netzartigem Aufbau, bedingt eine langsamere Wanderung von längeren DNA-Molekülen.
Grobziel 8	Einsicht in die Problematik der Auswertung von PCR-Gelen
Lerninhalte	- notwendige Kontrollversuche: Primer-Kontrolle und negative Kontrolle; - Spezifität der Primer führt zu Amplifikaten mit spezifischer Größe; - Bestimmung der Amplifikat-Länge über eine Agarose-Gelelektrophorese unter Bezug auf einen Größenstandard; - Charakterisierung der entsprechenden Allele über die Größe der Amplifikate; - Problematik von Heteroduplex-Formen bzw. Allelvarianten
Grobziel 9	Bereitschaft sich mit ethischen Fragestellungen im Zusammenhang mit der Gentechnik auseinanderzusetzen
Lerninhalte	- ethische Beurteilung des Eingriffs in das Erbgut eines Lebewesens: - Unterscheidung Mensch – Tiere (fundamentalethische Frage) - Unterscheidung Keimbahn – Soma (verantwortungsethische Frage); - Unterscheidung nach den Zielsetzungen des Eingriffs (verantwortungsethische Frage).

**Anhang 5: Ausschnitt aus dem paarweisen Sequenzvergleich der GenBank-Einträge E17099 und M62563 (Benson et al. 2004) auf der DNA-Ebene mit dem Programm „Gap“ der Tool-Gruppe „Pairwise Comparison“ von „W<sup>2</sup>H: the WWW Interface to Sequence Analysis Software**



Tools“ (<https://btrzxi.rz.uni-bayreuth.de/w2h/>, der einzige Sequenzunterschied ist gekennzeichnet)

```
E17099 x M62653          November 26, 2004 10:56  ..

176  CACTTGTCACTACTTTCTCTTATGGTGTTC AATGCTTTTCAAGATACCCA 225
      |||||||||||||||||||||||||||||||
201  CACTTGTCACTACTTTCTCTTATGGTGTTC AATGCTTTTCAAGATACCCA 250

226  GATCATATGAAACG GCATGACTTTTTTCAAGAGTGCCATGCCCGAAGGTTA 275
      |||||||||||||||||||||||||||||||
251  GATCATATGAAACG GCATGACTTTTTTCAAGAGTGCCATGCCCGAAGGTTA 300

276  TGTACAGGAAAGA AACTATATTTTTTCAAAGATGACGGGAACTACAAGACAC 325
      |||||||||||||||||||||||||||||||
301  TGTACAGGAAAGA AACTATATTTTTTCAAAGATGACGGGAACTACAAGACAC 350
```

**Anhang 6: Paarweiser Sequenzvergleich der GenBank-Einträge AAA27721 (AEVGFP A) und AAC53663 (GFPuv) auf der Proteinebene mit dem Programm „Gap“ der Tool-Gruppe „Pairwise Comparison“ von „W<sup>2</sup>H: the WWW Interface to Sequence Analysis Software Tools“ (<https://btrzxi.rz.uni-bayreuth.de/w2h/>, die Sequenzunterschiede sind gekennzeichnet)**

```
gfpuvprotein x gfp_m62653 November 26, 2004 17:12  ..

1  M ASKGEELFTGVVPIVVELDGDVNGHKFSVSGEGEGDATYGKLT LKFICT 50
      |||||||||||||||||||||||||||||||
1  .MSKGEELFTGVVPIVVELDGDVNGHKFSVSGEGEGDATYGKLT LKFICT 49

51  TGKLPVPWPTLVTTFSYGVQCFSRYPDHMKR HDFFKSAMPEGYVQERTIS 100
      |||||||||||||||||||||||||||||||
50  TGKLPVPWPTLVTTFSYGVQCFSRYPDHMKR HDFFKSAMPEGYVQERTIS 99

101  FKDDGNYKTRA EVKFE GDTLVNRIELKGIDFKEDGNILGHKLEYNYN SHN 150
      |||||||||||||||||||||||||||||||
100  FKDDGNYKTRA EVKFE GDTLVNRIELKGIDFKEDGNILGHKLEYNYN SHN 149

151  VYI IADKQKNGIKANFKIRHNIEDGSVQLADHYQQNTPIGDGPVLLPDNH 200
      |||
150  VYI IADKQKNGIKANFKIRHNIEDGSVQLADHYQQNTPIGDGPVLLPDNH 199

201  YLSTQSALS KDPNEKR DHMVLLFVTAAGITHGMDELYK 239
      |||||||||||||||||||||||||||||||
200  YLSTQSALS KDPNEKR DHMVLLFVTAAGITHGMDELYK 238
```

**Anhang 7: Paarweiser Sequenzvergleich der GenBank-Einträge M62653 (AEVGFP A) und U62637 (pBAD-GFPuv, Basen 1342 - 2061) auf der DNA-Ebene mit dem Programm „Gap“ der Tool-Gruppe „Pairwise Comparison“ von „W<sup>2</sup>H: the WWW Interface to Sequence Analysis Software Tools“ (<https://btrzxi.rz.uni-bayreuth.de/w2h/>, die Sequenzunterschiede sind gekennzeichnet)**

```
M62653 x gfpuv          November 26, 2004 16:56  ..

1  TACACACGAATAAAAGATAACAAAGATGAGTAAAGGAGAAGA AACTTTTCA 50
      |||
1  .....atg gct ag caaaggagaagaacttttca 28

51  CTGGAGTTGTCCCAATTCTTGTGAATTAGATGGTGATGTTAATGGGCAC 100
      |||||||||||||||||||||||||||||||
29  ctggagtgtgcccaattcttgtgaattagatggtgatgttaatgggcac 78

101  AAATTTTCTGTCAGTGGAGAGGGTGAAGGTGATGCACATACGGAAA CT 150
```

```

79 aaatcttctgtcagtgaggaggggtgaaggtgatgctacatacggaaaact 128
151 TACCCTTAAATTTATTTGCACTACTGGAAACTACCTGTTCCATGGCCAA 200
129 tacccttaaatttatttgcactactggaaaactacctgttccatggccaa 178
201 CACTTGTCACTACTTTCTCTTATGGTGTCAATGCTTTTCAAGATACCCA 250
179 cacttgtcactacttttctcttatgggtgttcaatgcttttccgttaccg 228
251 GATCATATGAAACAGCATGACTTTTTCAAGAGTGCCATGCCCGAAGGTTA 300
229 gatcatatgaaacggcatgactttttcaagagtgccatgccgaagggtta 278
301 TGTACAGGAAAGAACTATATTTTCAAGATGACGGGAACTACAAGACAC 350
279 tgtacaggaaaggcactatatctttcaaagatgacgggaactacaagacgc 328
351 GTGCTGAAGTCAAGTTTGAAGGTGATACCCTTGTTAATAGATCGAGTTA 400
329 gtgctgaagtcaagtttgaaggtgatacccttgttaatggtatcgagtta 378
401 AAAGGTATTGATTTTAAAGAAGATGGAAACATTCTTGGACACAAATTTGA 450
379 aaaggtattgatTTTAAAGAAGATGGAAACATTCTTGGACACAAATTTGA 428
451 ATACAACATAACTCACACAATGTATACATCATGGCAGACAAACAAAAGA 500
429 gtacaactataactcacacaatgtatacatcaggcagacaaacaaaaga 478
501 ATGGAATCAAAGTTAACTTCAAATTTAGACACAACATTGAAGATGGAAAGC 550
479 atggaatcaaagctaaacttcaaaattggcacaacattgaagatggaaacc 528
551 GTTCAACTAGCAGACCATTATCAACAAAATACTCCAATTGGCGATGGCCC 600
529 gttcaactagcagaccattatcaacaaaataactccaattggcgatggccc 578
601 TGTCTTTTACCAGACAACCATTACCTGTCCACACAATCTGCCCTTTTGA 650
579 tgtccttttaccagacaaccattacctgtccacacaatctgcccttttga 628
651 AAGATCCCAACGAAAAAGAGACCACATGGTCCTTCTTGAGTTTGTAAAC 700
629 aagatcccaacgaaaaaggagaccacatggtccttcttgagtttgtaac 678
701 GCTGCTGGGATTACACATGGCATGGATGAACTATACAAATAAATGTCCAG 750
679 gctgctgggattacacatggcatggatgaaactatacaaataaATGTCCAG 720

```

Folgende Sequenzunterschiede liegen vor:  
 durch die synthetische Veränderung des Wt-Gens:

- Insertion b 4-6 GCT: A;
- stille Mutationen:
  - Verbesserung der Codonnutzung für Arginin in Bakterien: b 219 u. 221 AGA → CGT: R73; b 242 A → G: R80; b 289 u. 291 AGA → CGC: R96; b 367 u. 369 AGA → CGT: R122;
  - Erzeugung von Restriktionsschnittstellen: b 9: T → C: S2; b 126 A → G: K41; b 225 C → T: Y74; b 228 A → G: P75; b 327 A → G: T108; b 424 u. 426 TTG → CTC: L141; b 429 A → G: E141; b 526 u. 527 Ag → TC: S175; b 608 G → C: S202; b 708 A → G: E235; b 711 A → C: L236;
- namengebende Mutationen: b 299 T → C: F99S; b 460 T → C: M154T; b 491 T → C: V164A;
- stille Mutationen: b 113 A → T: A38A; b 414 T → C: L138L; b 678 A → T: T226T.

**Anhang 8: Ausschnitt aus dem paarweisen Sequenzvergleich der DNA-Sequenz des kommerziell verfügbaren Plasmids pGLO (Bio-Rad Laboratories 2002) und der DNA-Sequenz des GenBank-Eintrages U62637 pBAD-GFPuv mit dem Programm „Gap“ der Tool-Gruppe „Pairwise Comparison“ von „W<sup>2</sup>H: the WWW Interface to Sequence Analysis Software Tools“ (<https://btrzxi.rz.uni-bayreuth.de/w2h/>, der einzige Sequenzunterschied ist gekennzeichnet)**

```

pglo.seq x cvu62637.seq   July 15, 2003 10:49  ..
 4401 TAAGGCGCAGCGGTCTGGGCTGAACGGGGGGTTCGTGCACACAGCCCAGCT 4450
      |
 4401 TAAGGCGCAGCGGTCTGGGCTGAACGGGGGGTTCGTGCACACAGCCCAGCT 4450
      .
 4451 TGGAGCGAACGACCTACACCGAACTGAGATACCTACAGCGTGAGCAATGA 4500
      |
 4451 TGGAGCGAACGACCTACACCGAACTGAGATACCTACAGCGTGAGCAATGA 4500
      .
 4501 GAAAGCGCCACGCTTCCCGAAGGGAGAAAGGCGGACAGGTATCCGGTAAG 4550
      |
 4501 GAAAGCGCCACGCTTCCCGAAGGGAGAAAGGCGGACAGGTATCCGGTAAG 4550
      .

```

Der einzige Unterschied liegt im Bereich des pBR322-Replikationsorigins von pBAD-GFPuv, der aus dem Plasmid pBAD18 stammt (Cramer et al. 1996, Guzman et al. 1995).

**Anhang 9: Paarweiser Vergleich der Proteinsequenzen der Betalactamase des kommerziell verfügbaren Plasmids pGLO (identisch mit pBAD-GFPuv) und des GenBank-Eintrages P62594 Beta-lactamase TEM precursor (EC 3.5.2.6) aus Salmonella typhi (Parkhill et al. 2001) mit dem Programm „Gap“ der Tool-Gruppe „Pairwise Comparison“ von „W<sup>2</sup>H: the WWW Interface to Sequence Analysis Software Tools“ (<https://btrzxi.rz.uni-bayreuth.de/w2h/>)**

```

bla_gfp x bla_P62594      November 30, 2004 15:36  ..
      .
 1  MSIQHFRVALIPFFAAFLPVFAHPETLVKVKDAEDQLGARVGYIELDLN 50
      |
 1  MSIQHFRVALIPFFAAFLPVFAHPETLVKVKDAEDQLGARVGYIELDLN 50
      .
 51  SGKILESFRPEERFPMSTFKVLLCGAVLSRVDAGQEQLGRRIHYSQNDL 100
      |
 51  SGKILESFRPEERFPMSTFKVLLCGAVLSRVDAGQEQLGRRIHYSQNDL 100
      .
101  VEYSPVTEKHLTDGMTVRELCSAAITMSDNTAANLLLTIGGPKELTAF 150
      |
101  VEYSPVTEKHLTDGMTVRELCSAAITMSDNTAANLLLTIGGPKELTAF 150
      .
151  HNMGDHVTRLDRWEPELNEAIPNDERDTMPAAMATTLRKLLTGELLTLA 200
      |
151  HNMGDHVTRLDRWEPELNEAIPNDERDTMPAAMATTLRKLLTGELLTLA 200
      .
201  SRQQLIDWMEADKVAGPLLRSAIPAGWFIADKSGAGERGSRGIIAALGPD 250
      |
201  SRQQLIDWMEADKVAGPLLRSAIPAGWFIADKSGAGERGSRGIIAALGPD 250
      .
251  GKPSRIVVIYTTGSQATMDERNRQIAEIGASLIKH 286
      |
251  GKPSRIVVIYTTGSQATMDERNRQIAEIGASLIKH 286

```

Es sind keine Sequenzunterschiede feststellbar.

**Anhang 10: Versuchsanleitung von Experiment 1 (veränd. nach Bio-Rad Laboratories o.J., verkleinert)**

Versuch 1: Transformation von Escherichia coli (Stamm HB 101) mit dem rekombinierten Plasmid pGLO

**Geräte:** Eppendorf-Gefäße (1,5 ml, weiß und farbig), sterile Ösen, Vortex-Mischer, var. Eppendorf-Pipetten (20, 200 und 1000 µl), Pipettenspitzen, Wasserbad mit Thermometer, Schwimmer, Eisbad, Drygalski-Spatel, 50 ml-Becherglas, Spiritus-Brenner, Markierstift.

**Chemikalien:** Transformations-Lösung (rotes Gefäß mit **T** markiert, im Eisbad), LB-Medium (gelbes Gefäß mit **M** markiert), pGLO-Plasmid-Lösung (grünes Gefäß mit **P** markiert, im Eisbad), hochreines Wasser (blaues Gefäß mit **W** markiert), beschriftete Agarplatten (LB-Medium, LB-Ampicillin-Medium (LB-Amp), LB-Ampicillin-Arabinose-Medium (LB-Amp-Ara)).

**Zellmaterial:** Escherichia coli HB 101 (Sicherheitsstamm).

**Vorbereitung** (durch den Kursleiter):

- Herstellung der Agarplatten;
- Ausplattieren von E. coli HB 101 auf LB- (Luria-Bertani-) Agarplatten (übliches Normal-Medium);
- Sterilisation der Transformationslösung und des flüssigen LB-Mediums;
- Vorheizen des Wasserbades;

**Durchführung:**

- Markieren der leeren, weißen Eppendorf-Gefäße jeweils entweder mit (+) (Gruppen 1 bis 4) oder (-) (Gruppe 5):  
In den (+) - Gefäßen werden die Bakterien mit dem aufzunehmenden Erbgut in Kontakt gebracht, in dem (-) - Gefäß nicht (negative Kontrolle).
- Mit einer sterilen 1000 µl Pipettenspitze werden 250 µl Transformations-Lösung (rotes Gefäß mit **T** markiert, im Eisbad) in das Eppendorf-Gefäß übertragen und dann auf Eis gestellt:  
Die Transformations-Lösung besteht aus einer Ca-chlorid-Lösung, pH 6,1. Die zweifach positiv geladenen Ca-Ionen neutralisieren die negativen Ladungen an den Phosphat-Gruppen der DNA und an den Phospho-Lipiden der Zellmembran, so dass das Erbgut durch die Membran hindurch aufgenommen werden kann.
- Mit einer sterilen Öse wird eine Kolonie von der Agarplatte abgestrichen und in das Eppendorf-Gefäß überführt. Durch Drehen und Schütteln der Öse werden die Bakterien in der Lösung so suspendiert, dass sich ein sichtbares Klümpchen von der Öse löst. Das Gefäß wird anschließend für 10 sec auf dem Vortex-Gerät geschüttelt, dann wird es wieder auf Eis gestellt:  
Die Zellen vermischen sich mit dem der Ca-Chlorid-Lösung.
- Das zu transformierende Erbgut, ein Plasmid, ein kleines, ringförmiges und zusätzlich vorhandenes DNA-Molekül, wird gelöst in Wasser (grünes Gefäß mit **P** markiert, im Eisbad) zupipettiert:  
Der Ansatz von Gruppe 5 ist die negative Kontrolle, die sowohl die Überlebensfähigkeit der Wirtsbakterien bei dieser Versuchsanordnung als auch deren fehlende Resistenz testet.

Gruppen-Nr.	1	2	3	4	5
Plasmid-Lösung	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl	-
Hochreines Wasser	-	-	-	-	10 µl

- Die Gefäße werden dann für 10 min auf Eis gestellt.  
Auf dem ringförmigen Erbgut-Molekül ist die Information für ein Eiweiß enthalten, das ursprünglich aus dem Erbgut der Qualle *Aequorea* stammt. Es codiert für das grüne, fluoreszierende Protein dieses Tieres. Aufgrund des besonderen Aufbaus dieses Erb-Moleküles können die Bakterien dieses Erbgut in eine Boten- (= messenger-RNA) überschreiben (transkribieren) und so das entsprechende Protein herstellen (Übersetzen der Kopie durch Translation = Expression des fremden Erbgutes). Das fremde Gen ist hinter einem bakteriellen Promotor und einer bakteriellen Regulationssequenz so eingefügt, dass es von den Enzymen der Wirtszellen nicht erkannt wird.
- In der Zwischenzeit werden die Agarplatten beschriftet:  
Gruppen 1 bis 4: LB Amp und LB Amp Ara, jeweils mit Gruppen-Nr. und Datum  
Gruppe 5: LB und LB Amp, jeweils mit Gruppen-Nr., Datum und Ko für Kontrolle:  
Auf dem ringförmigen Plasmid liegen neben dem Erbgut für das grün fluoreszierende Protein noch weitere Gene:  
Resistenz gegen das Antibiotikum Ampicillin durch das Enzym Betalactamase, die Startstelle, also den Promotor, für die Gene, die in Bakterien für den Abbau des Zuckers Arabinose zuständig sind und das Gen für das hemmende Eiweiß (Inhibitor-Protein), das die Ablesung der für den Arabinose-Abbau notwendigen Gene unterbindet, so lange der Zucker Arabinose nicht vorhanden ist. Der Zucker ist also gewissermaßen das „Schalter-Molekül“, das die Transkription der Gene ermöglicht und damit auch als Schalter für das grün leuchtende Eiweiß dient.
- Die Gefäße werden mit dem Eisbad zum Wasserbad gebracht und für genau 50 sec in das 42 °C heiße Wasserbad gegeben und dann sofort für zwei min ins Eis gestellt:  
Der Hitzeschock erhöht die Durchlässigkeit der Membran für die fremde DNA, wobei der genaue Mechanismus nicht geklärt ist.
- Die Gefäße werden aus dem Eis entnommen und es werden 250 µl LB-Medium (gelbes Gefäß mit **M** markiert) zupipettiert, durch Anschippen wird gemischt und dann wird 10 min bei RT stehen gelassen (inkubiert):

Die Zellen „erholen“ sich von dem Hitzeschock und beginnen wieder zu wachsen und das Gen für die Antibiotika- (Ampicillin-) Resistenz zu exprimieren.

- Es werden jeweils 100 µl der Proben auf eine Platte ausplattiert. Die Platten werden bei 37 °C über Nacht inkubiert und dann im Kühlschrank aufbewahrt.  
Die Bakterien werden auf der Agarplatte vereinzelt und beginnen sich durch Teilung zu vermehren, so dass sich aus einer Zelle eine Kolonie bildet.  
Die Selektionsbedingungen durch die Inhaltsstoffe des Mediums entscheiden über das Wachstum der ausplattierten Bakterien:  
Ampicillin-Platte: Nur Bakterien, die das Enzym Betalactamase zum Abbau des Antibiotikums exprimieren, können wachsen.  
Arabinose-Platte: Nur Bakterien, die ein Inhibitor-Protein für den Arabinose-Abbau herstellen, können den „Schalter“ zur Bildung des grün leuchtenden Eiweißes öffnen, da der Zucker den Hemmstoff inaktiviert.

---

## Anhang 11: Versuchsanleitung von Experiment 2 (veränd. nach Sigma 2002, verkleinert)

Versuch 2: Isolierung des Plasmids pGLO aus transformierten Bakterien

**Geräte:** Handschuhe, Eppendorf-Gefäße (1,5 und 2 ml), ein Gefäß ohne (mit **DNA** und Gruppen-Nr. markiert) und eines mit kleiner Säule (blauer Ring), Eisbad; Kühlschrank, Eppendorf-Microfuge, var. Eppendorf-Pipetten (200 und 1000 µl), Pipettenspitzen, 50 ml und 150 ml Becherglas.

**Chemikalien:** Resuspensions-Lösung (weißes Gefäß, mit **R** markiert, Eisbad); Lysis-Lösung (gelbes Gefäß mit **L** markiert), Neutralisations-Lösung (rotes Gefäß mit **N** markiert), Vorbereitungslösung (weißes Gefäß, mit **V** markiert), Wasch-Lösungen I und II (grüne Gefäße mit **I** und **II** markiert, nicht verwechseln!) hoch reines Wasser (blaues Gefäß mit **W** markiert).

**Zellmaterial:** Suspension von transformierten Escherichia coli – Zellen (HB 101 + pGLO-Plasmid) (weiße Eppendorf-Gefäße mit **B** bzw. **K** markiert).

**Vorbereitung:** (durch den Kursleiter):

- Autoklavieren der benötigten Eppendorf-Gefäße.
- Anzucht von 2 ml Flüssigkulturen ausgehend von transformierten Einzelkolonien in LB-Ampicillin-Arabinose-Medium für zwei Tage bei Raumtemperatur:  
Die Bakterien wachsen bis zur notwendigen Zelldichte heran, sie vervielfältigen auch das vorhandene Plasmid, da sie im entsprechenden Selektionsmedium leben.
- Aufteilen der Bakteriensuspension in Volumina von 750 µl (**B**) und 400 µl (Vergleichssuspension **K**).

**Durchführung:**

- Anziehen der Handschuhe:  
Auf der Hautoberfläche befinden sich zum einen DNA-abbauende Enzyme, die DNasen, zum anderen besteht die Gefahr einer Verunreinigung der Probe durch fremdes Erbgut, bspw. von Hautbakterien.
- Die Bakteriensuspension mit 750 µl Volumen (weißes Gefäß mit **B** markiert) wird für 1 min bei 14400 rpm zentrifugiert. Der Überstand wird in das kleine Becherglas abgegossen und die Oberseite des Eppendorfgefäßes sofort auf ein Papiertuch getupft, um noch vorhandene Tropfen des Nährmediums zu entfernen:  
Die Bakterienzellen werden von der Nährflüssigkeit abgetrennt.
- Mit der 200 µl Eppendorf-Pipette werden die abzentrifugierten Bakterienzellen dann mit 200 µl Resuspensions-Lösung (weißes Eppendorf-Gefäß im Eisbad, **R**) versetzt und mit der Pipette durch fünfmaliges Ansaugen und Auspipettieren wieder suspendiert. Das vorher vorhandene Zellklümpchen muss sichtbar verschwinden und die Flüssigkeit deutlich trüb erscheinen. Dann wird das Gefäß für 20 s bei höchster Stufe auf dem Vortex-Mischer geschüttelt, gleiches wird mit Vergleichssuspension (400 µl, weißes Gefäß mit **K** markiert) durchgeführt:  
Die Resuspensions-Lösung stellt die richtigen Ionen- bzw. Pufferbedingungen für die folgende Zerstörung (Lyse) der Bakterienzellwand ein. Sie enthält außerdem ein RNA-abbauendes Enzym, die zur katalytischen Zersetzung der freigesetzten RNA-Moleküle führt.
- Mit der 200 µl Eppendorf-Pipette werden dann zuerst 200 µl Lysis-Lösung (gelbe Eppendorf-Gefäße, **L**) in das Eppendorf-Gefäß pipettiert und diese dann vorsichtig 5 bis 6 mal hin- und hergekippert, bis sich eine klare, relativ viskose Lösung bildet (maximal 3 min, Vergleich mit der nicht lysierten Vergleichssuspension **K!**). Anschließend werden mit der 1000 µl Eppendorf-Pipette sofort 350 µl Neutralisations-Lösung (rote Eppendorf-Gefäße, **N**) zupipettiert und durch Hin- und Herschwenken vollständig gemischt:  
Die bakteriellen Zellwände werden durch die stark alkalische Lysis-Lösung zerstört, allerdings darf diese Lösung nicht zulange auf das dadurch freigesetzte Cytoplasma einwirken, da sonst neben anderen Biomoleküle auch die DNA-Moleküle zerstört werden. Deshalb muss die Lösung nach der Lyse sofort neutralisiert werden, dabei werden auch der größte Anteil der vorhandenen Eiweiße sowie die chromosomale DNA aufgrund der hohen Salzkonzentration durch Fällung unlöslich. Die kleinen Plasmid-Ringe bleiben im Cytoplasma gelöst.

- Das Eppendorf-Gefäß wird für 10 min bei 14400 rpm zentrifugiert (**Kooperation der Gruppen**): Die Zellwand- und Zellmembranreste sowie die gefällten Zellinhaltsstoffe werden vom löslichen Cytoplasma abgetrennt.
- **3 min vor dem Ende der Zentrifugation** werden die kleinen Chromatographiesäulen für die Isolierung der Plasmid-DNA vorbereitet: Mit der 1000 µl Pipette werden 500 µl Vorbereitungs-Lösung (weißes Gefäß, **V**) auf die kleine Säule pipettiert und diese dann für 1 min bei 11400 rpm zentrifugiert (**Kooperation der Gruppen**), das Filtrat wird dann in das kleine Becherglas hinein verworfen: Durch die Vorbereitungs-Lösung wird das Säulenmaterial aus Siliciumdioxid für die Bindung der Plasmid-DNA aktiviert.
- Mit der 1000 µl Pipette werden nach dem Ende der Zentrifugation 750 µl Überstand (Lysat der Bakterienzellen) vorsichtig abpipettiert und auf die kleine Säule übertragen. Dann wird für 1 min bei 14400 rpm zentrifugiert, das Filtrat wird wieder verworfen (kleines Becherglas): Die Plasmid-DNA mit ihren negativ geladenen Phosphatgruppen bindet aufgrund spezifischer Anziehungskräfte, vermittelt über Ionenbindungen zu einem positiv geladenen, organischen Molekölion, an das Säulenmaterial aus Siliciumdioxid.
- Dann werden 500 µl Wasch-Lösung I (grünes Gefäß **I**) zupipettiert, dann wird bei 14400 rpm für 1 min zentrifugiert, das Filtrat wieder verworfen, dann werden 750 µl Wasch-Lösung II (grünes Gefäß **II**) zugegeben und nochmals 1 min bei 14400 rpm zentrifugiert; das Filtrat wird dann wieder verworfen: Die an dem Säulenmaterial gebundene Plasmid-DNA wird von noch vorhandenen Verunreinigungen aus dem Cytoplasma befreit.
- Die Säule wird dann noch für 2 min trocken bei 14400 rpm zentrifugiert: Für die Ablösung der Plasmid-DNA vom Säulenmaterial dürfen keine Reste der Wasch-Lösung mehr vorhanden sein, da diese ethanolhaltig ist, was die Löslichkeit der DNA verringern würde.
- Die Säule wird in das zweite Gefäß (**DNA, Nr.**) überführt (sie muss trocken aussehen!), es werden 100 µl Wasser zugegeben und dann für 1 min bei 13500 rpm zentrifugiert. Das Eluat mit der Plasmid-DNA wird auf Eis gestellt: Die Trennlösung schwächt die Anziehungskräfte der DNA an das Säulenmaterial, so dass diese sich ablöst und sich in der Trennlösung auflösen kann. Der DNA-Gehalt kann dann durch die Gelelektrophorese getestet werden.

**Anhang 12: Versuchsanleitung von Experiment 3 (veränd. Maniatis 1982, S. 104, verkleinert)**

**Versuch 3: Analyse des rekombinierten Plasmids pGLO mit Restriktionsenzymen**

**Geräte:** Handschuhe, Eppendorf-Gefäße (0,5 ml und 1,5 ml), Eisbad; Wasserbäder, Schwimmer, Eppendorf-Microfuge, var. 20 µl Eppendorf-Pipetten mit Pipettenspitzen.

**Chemikalien:** isolierte Plasmid-Proben 1 – 10 (vorhandene Eluate von Versuch 2, pro Gruppe zwei Ansätze, weiße Gefäße mit **1 – 10** markiert im Eisbad); hoch reines Wasser (blaues Gefäß mit **W** markiert), Puffer-Lösung (10x konzentriert, kleines gelbes Gefäß im Eisbad).

**Durchführung:**

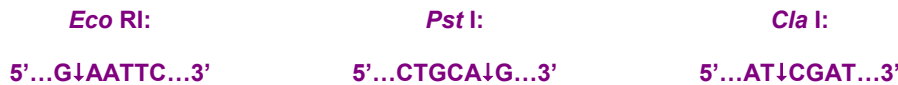
- Anziehen der Handschuhe: Auf der Hautoberfläche befinden sich zum einen DNA-abbauende Enzyme, die DNasen, zum anderen besteht die Gefahr einer Verunreinigung der Probe durch fremdes Erbgut, bspw. von Hautbakterien.
- Mit sterilen Pipettenspitzen werden im Eisbad nacheinander folgende Lösungen in die Plasmidproben (weiße Gefäße, **1 – 10**) pipettiert; die Restriktionsenzyme werden am Kursleitertisch durch den Kursleiter zugegeben:

Proben-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Plasmid-DNA	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl
Wasser	3,5µl	3,3 µl	3,3 µl	3,1 µl	3,5µl	3,5µl	3,3 µl	3,1 µl	3,1 µl	3,5 µl
Puffer (10 x)	1,5 µl	1,5 µl	1,5 µl	1,5 µl	1,5 µl	1,5 µl	1,5 µl	1,5 µl	1,5 µl	1,5 µl
Restriktionsenzyme	-	<i>Eco</i> RI	<i>Cla</i> I	<i>Eco</i> RI / <i>Cla</i> I	-	-	<i>Pst</i> I	<i>Eco</i> RI / <i>Pst</i> I	<i>Cla</i> I / <i>Pst</i> I	-
	-	0,2 µl	0,2 µl	0,2 µl / 0,2 µl	-	-	0,2 µl	0,2 µl / 0,2 µl	0,2 µl / 0,2µl	-
Gesamt-volumen	15 µl	15 µl	15 µl	15 µl	15 µl	15 µl	15 µl	15 µl	15 µl	15 µl

- Die Lösungen werden durch Anschneiden gemischt, anschließend für 5 sec kurz zentrifugiert und dann ins Eis zurückgestellt, bis alle Proben vorbereitet sind. Dann kommen sie gemeinsam für 1 h in das am Kursleitertisch vorbereitete Wasserbad mit 37 °C: Restriktionsenzyme sind eine „Verteidigungswaffe“ der Bakterien gegen eindringende DNA-Moleküle. Dies können freie Erbgutmoleküle sein, aber auch die Gene von eindringenden Bakteriophagen (Bakterienviren).



Die Restriktionsenzyme schneiden Fremd-Moleküle sequenzspezifisch an den vorhandenen Schnittstellen. Jedes Enzym erkennt aufgrund des Schlüssel-Schloss-Prinzips nur einen bestimmten DNA-Abschnitt, bindet an das Erbgut-Molekül und trennt den Doppelstrang innerhalb des Erkennungsbereiches. Die Erkennungs-Sequenzen sind:



- Nach der Inkubationszeit werden die Gefäße für 10 min in das Wasserbad mit 65 °C (Kursleitertisch) gestellt und anschließend auf Eis aufbewahrt:  
Durch die hohe Temperatur werden die Enzyme hitzedenaturiert, ihre Tertiärstruktur wird so verändert, dass sie ihre Funktion nicht mehr ausüben können.
- Das Resultat der Restriktions-Verdauung wird in einer Agarose-Gelelektrophorese überprüft:  
Die entstandenen Bruchstücke werden nach ihrer Größe aufgetrennt. Beim ungeschnittenen Plasmid ist aufgrund der Isolationsmethode nur eine Bande sichtbar, die supercoiled-Form.

### Anhang 13: Versuchsanleitung von Experiment 4 (verkleinert)

Versuch 4: Durchführung der Agarose-Gelelektrophorese zur Auftrennung der DNA-Proben

**Geräte:** Trockenschrank, Heizer, Waage, 50 ml Erlenmeyer-Kolben, Spatel, Elektrophorese-Kammer mit Zubehör, Eppendorf-Gefäße (1,5 ml), Eppendorf-Zentrifuge, var. 20 µl Eppendorf-Pipette mit Pipettenspitzen, Eisbad, schwarze Unterlage.

**Chemikalien:** Agarose, Elektrophorese-Puffer (TBE-Puffer: 8,9 mmol/l Tris pH 7,6; 8,9 mmol/l Borsäure; 0,2 mmol/l EDTA), hoch reines Wasser (blaues Gefäß mit **W** markiert), Eisbad, Auftragspuffer (5-fach konzentriert, blaue Lösung im Styroporständler), DNA-Proben: isolierte und geschnittene Plasmid-Proben pGLO.

**Vorbereitung:** (durch den Kursleiter):

- 100 ml des 10-fach konzentrierten Elektrophorese-Puffers werden auf 1 l Volumen verdünnt:  
Der Puffer stellt die richtigen Salz- und pH-Bedingungen für die Auftrennung der DNA-Moleküle her, unter denen die Phosphatgruppen negativ geladen sind.
- Jeweils 350 mg bzw. zweimal 1 g Agarose werden abgewogen und jeweils in 50 ml TBE-Puffer, d. h. 0,7 % bzw. 2 % w/v, suspendiert:  
Der Gehalt an Agarose entscheidet über die „Bremswirkung“ des Molekülgerüsts gegenüber den DNA-Molekülen, je höher der Anteil im Gel ist, desto langsamer wandern die Moleküle.
- Die Agarose-Suspensionen werden auf dem Heizer aufgekocht und anschließend zum Abkühlen auf ca. 50 °C im Trockenschrank bis zur Benutzung aufbewahrt.
- Vorbereitung der Längenstandards:  
Restriktionsfragmente (Enzym HindIII) des Phagen Lambda mit Längen von 23130 – 125 bp.
- Die Agarose-Lösungen werden mit dem Farbstoff SYBR-Green (5 µl einer 10000-fach konzentrierten Lösung in Dimethylsulfoxid auf 50 ml Lösung) versetzt:  
Die Farbstoff-Moleküle im Gel lagern sich zwischen den Basen der DNA-Moleküle ein, wenn die Erbgut-Moleküle durch das Gel wandern.

**Durchführung:**

- Die drei Agarose-Lösungen werden in die vorbereiteten Elektrophorese-Kammern gegossen und die Gelkämme eingesetzt. Die Kammern werden bis zum Erstarren des Gels (ca. 30 – 40 min) stehen gelassen.
- Die rechte Kammer wird vorsichtig mit der Pufferlösung aufgefüllt, bis das Gel überflutet wird, dann wird auch die andere Kammer gefüllt und anschließend vorsichtig der Kamm herausgezogen.
- Jede Gruppe beschriftet ein weißes Eppendorf-Gefäß mit seiner Gruppen-Nr. und pipettiert zuerst 10 µl Plasmid-DNA und dann 2,5 µl Auftragspuffer (blaue Lösung) in das Gefäß. Die Lösungen werden durch Anschneiden gemischt und anschließend für 5 sec kurz zentrifugiert.
- Dann werden mit der Pipette vorsichtig von oben 12 µl Probenvolumen bzw. 7 µl Standardlösung (Kursleiter) in die jeweilige Gelkammer eingefüllt.
- Gelkammern in **Gel 1**:

Kammer-Nr.	1	2	3	4	5	6
DNA-Probe	Längen- standard	Plasmid-Proben				
		Gr. 1	Gr. 2	Gr. 3	Gr. 4	Gr. 5
	7 µl	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl
Auftragspuffer	-	2,5 µl	2,5 µl	2,5 µl	2,5 µl	2,5 µl
<b>Kammervolumen</b>	<b>7 µl</b>	<b>12 µl</b>	<b>12 µl</b>	<b>12 µl</b>	<b>12 µl</b>	<b>12 µl</b>

**Gele 2 und 3: Auftrennung der geschnittenen Plasmide (Versuch 3):**

- Die zwei Proben jeder Gruppe werden jeweils mit 3,75 µl Auftragspuffer gemischt. Die Lösungen werden durch Anschneiden gemischt und anschließend für 5 sec kurz zentrifugiert.
- Dann werden mit der Pipette vorsichtig von oben 18 µl Probenvolumen bzw. 7 µl Längen-Standardlösung (L.-St., Kursleiter) in die jeweilige Gelkammer eingefüllt.
- Gelkammern in den **Gelen 2 und 3**:

Gel	2						3					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Kammer-Nr.	1	2	3	4	5	L.-St.	6	7	8	9	10	L.-St.
Proben-Nr.	1	2	3	4	5	-	6	7	8	9	10	-
Plasmid-DNA	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl	-	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl	-
Restriktionsenzyme	-	<i>Eco</i> RI	<i>Cla</i> I	<i>Eco</i> RI / <i>Cla</i> I	-	-	-	<i>Pst</i> I	<i>Eco</i> RI / <i>Pst</i> I	<i>Cla</i> I / <i>Pst</i> I	-	-
Gesamtvolumen	15 µl	15 µl	15 µl	15 µl	15 µl	7 µl	15 µl	15 µl	15 µl	15 µl	15 µl	7 µl
Auftragspuffer	3,75 µl	3,75 µl	3,75 µl	3,75 µl	3,75 µl	-	3,75 µl	3,75 µl	3,75 µl	3,75 µl	3,75 µl	-
Kammervolumen	18 µl	18 µl	18 µl	18 µl	18 µl	7 µl	18 µl	18 µl	18 µl	18 µl	18 µl	7 µl

- Durch den Kursleiter wird die Elektrophorese mit einer Spannung von 120 V gestartet:  
Aufgrund der Pufferlösung sind die Phosphatgruppen der DNA-Moleküle negativ geladen. Durch die negativen Ladungen werden die DNA-Moleküle vom positiven Pol angezogen. Je kleiner sie sind, desto schneller können sie sich im porösen Gel bewegen.
- Spätestens wenn der erste Farbstoff des Auftragspuffers die vordere Gelkante erreicht hat, wird die Elektrophorese beendet. Das Gel wird dann entnommen und unter das Gel-Dokumentationszentrum gelegt und ausgewertet.

#### Anhang 14: Befragung der anwesenden Kursleiter (Gymnasiallehrer Biologie) zur Durchführbarkeit der Experimente in der Schule

Alle anwesenden Kursleiter wurden im Anschluss an die Projektveranstaltung zur Bewertung des Lernzielbezugs wie folgt befragt (Rating-Skala mit folgenden Antwortmöglichkeiten: Bitte bewerten Sie die folgenden Aussagen: Diese Aussage stimmt völlig (5) / ziemlich (4) / teils-teils (3) / wenig (2) / gar nicht (1) / kann ich nicht beurteilen (0)):

	Die heute durchgeführten Experimente
6.1	- sind in dieser Form an der Schule nicht durchführbar.

Ergebnisse:

Durchführbarkeit

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	gar nicht	1	14,3	14,3	14,3
	wenig	1	14,3	14,3	28,6
	völlig	5	71,4	71,4	100,0
	Gesamt	7	100,0	100,0	

Eine Mehrheit stimmt der Aussage „völlig“ zu.

#### Anhang 15: Befragung der anwesenden Kursleiter (Gymnasiallehrer Biologie) zum Lernzielbezug der Projektveranstaltung

Alle anwesenden Kursleiter wurden im Anschluss an die Projektveranstaltung zur Bewertung des Lernzielbezugs wie folgt befragt (Rating-Skala mit folgenden Antwortmöglichkeiten: Bitte bewerten Sie die folgenden Aussagen: Diese Aussage stimmt völlig (5) / ziemlich (4) / teils-teils (3) / wenig (2) / gar nicht (1) / kann ich nicht beurteilen (0)):

	Die heute durchgeführten Experimente
6.1	- beziehen sich auf das Lehrplanthema „Aspekte der Gentechnologie“.
	Durch die Experimente werden andere Lerninhalte aus dem LK-Lehrplan 12/1
7.1	- aktualisiert.



7.2	- wiederholt.
7.3	- vertieft.

Ergebnisse:

**Lehrplanbezug Gentechnologie**

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	ziemlich	2	13,3	20,0	20,0
	völlig	8	53,3	80,0	100,0
	Gesamt	10	66,7	100,0	
Fehlend	System	5	33,3		
Gesamt		15	100,0		

**Aktualisierung anderer Lerninhalte**

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	teils-teils	1	6,7	8,3	8,3
	ziemlich	3	20,0	25,0	33,3
	völlig	8	53,3	66,7	100,0
	Gesamt	12	80,0	100,0	
Fehlend	System	3	20,0		
Gesamt		15	100,0		

**Wiederholung anderer Lerninhalte**

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	teils-teils	1	6,7	8,3	8,3
	ziemlich	5	33,3	41,7	50,0
	völlig	6	40,0	50,0	100,0
	Gesamt	12	80,0	100,0	
Fehlend	System	3	20,0		
Gesamt		15	100,0		

**Vertiefung anderer Lerninhalte**

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	teils-teils	1	6,7	8,3	8,3
	ziemlich	3	20,0	25,0	33,3
	völlig	8	53,3	66,7	100,0
	Gesamt	12	80,0	100,0	
Fehlend	System	3	20,0		
Gesamt		15	100,0		

Die Mehrheit der Lehrkräfte bestätigt sowohl den aktuellen als auch den vorwissenbezogenen Lernzielbezug der Projektveranstaltung.

**Deskriptive Statistiken im Hinblick auf die Unterrichtsgruppen**

		N	Mittelwert	Standard-abweichung	Min.	Max.
Lehrplanbezug Gentechnologie	Schul-	1	4,00		4	4
	Labor-	2	5,00	,000	5	5
	Experimental-Gr.	7	4,86	,378	4	5
	Gesamt	10	4,80	,422	4	5
Aktualisierung anderer Lerninhalte	Schul-	3	4,67	,577	4	5
	Labor-	2	5,00	,000	5	5
	Experimental-Gr.	7	4,43	,787	3	5
	Gesamt	12	4,58	,669	3	5
Wiederholung anderer Lerninhalte	Schul-	3	4,67	,577	4	5
	Labor-	2	5,00	,000	5	5
	Experimental-Gr.	7	4,14	,690	3	5
	Gesamt	12	4,42	,669	3	5
Vertiefung anderer Lerninhalte	Schul-	3	4,67	,577	4	5
	Labor-	2	5,00	,000	5	5
	Experimental-Gr.	7	4,43	,787	3	5
	Gesamt	12	4,58	,669	3	5

Der Lernzielbezug wird unabhängig von der Unterrichtsform im Bereich zwischen „ziemlich“ und „völlig zutreffend“ eingeschätzt.

**Anhang 16: Protokollierung ausgewählter Kurstage**

1. Teilnehmer am Projekttag

Kurstag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ges.
Teilnehmer	11	16	7	10	18	21	19	17	17	21	
Prozent	7,0	10,2	4,4	6,4	11,5	13,4	12,1	10,8	10,8	13,3	100,0

Teilnehmer

N	Gültig	10
Mittelwert		15,70
Median		17,00
Standardabweichung		4,785
Minimum		7
Maximum		21

Für die Verlaufsprotokollierung wurden Kurstag 10 (maximale Teilnehmerzahl) und die Kurstage 8 und 9 (Median der Teilnehmerzahl) ausgewählt.

2. Zeit-Protokolle der drei ausgewählten Kurstage

Unterrichtsphase	Kurstag		
	8	9	10
„pre-lab“-Phase	40	35	45
Pause	10	10	10
Motivierender Einstieg, Problemstellung, Erarbeitung Frage 1	31	33	39
Erarbeitung Frage 2			
Erarbeitung Transformation	14	14	17
Durchführung Transformation (Experiment 1)	25	29	27
Auswertung Transformation	4	3	5
Erarbeitung Restriktionsansätze	14	12	13
Durchführung Restriktionsansätze ((Experiment 3)	9	11	10
Erarbeitung Agarose-Gelelektrophorese	9	7	4
Durchführung Agarose-Gelelektrophorese (Experiment 4 A)	6	5	6
Mittagspause	75	75	75
Erarbeitung Plasmid-Isolierung	16	16	14
Durchführung Plasmid-Isolierung (Experiment 2)	33	35	36
Durchführung Agarose-Gelelektrophorese (Experiment 4 B)	27	28	28
Pause	15	15	15
Erarbeitung Frage 3	11	10	8
Erarbeitung Frage 4	21	25	23
Auswertung Gelelektrophorese	18	12	17
Ausblick			

**Anhang 17: Überblick über die eingesetzten Powerpoint-Folien (sich überlagernde Bilder sind durch eingebaute Animationen bedingt)**

Demonstrationslabor  
zur Bio- und Gentechnik  
Projektveranstaltung an der Universität  
Bayreuth,  
Lehrstuhl Didaktik der Biologie  
Modul 1:  
„Analyse eukaryotischen Erbguts in  
Bakterien“



Alba

- ein rotäugiges Albino-Kaninchen
- geboren am 29. 4. 2000 in Frankreich

„Alba green“

- das grün leuchtende Kaninchen
- ein transgenes Tier

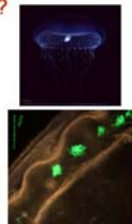


Aufgeworfene Fragen

1. Welcher Stoff verursacht das Leuchten?
2. Welche molekularbiologischen Verfahren sind notwendig, um letztendlich ein transgenes Lebewesen herzustellen?
3. Welche Bedeutung besitzt der grün leuchtende Stoff in der modernen Biologie?
4. Wie soll man ein solches Experiment ethisch bewerten?

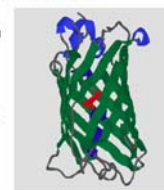
1. Welcher Stoff verursacht das grüne Leuchten?

Das grün fluoreszierende Protein GFP (green fluorescent protein), ein Eiweiß aus der Meeresqualle Aequorea victoria:  
Mechanische Reizung und UV-Licht lösen das grüne Leuchten aus: Fluoreszenz



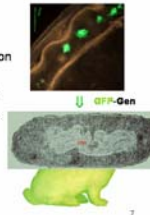
1. Welcher Stoff verursacht das grüne Leuchten?

Eigenschaften des grün fluoreszierenden Proteins GFP:  
1. Aufbau aus 238 Aminosäuren  
2. röhrenförmige Tertiärstruktur mit innen liegendem Farbgeber



2. Welche molekularbiologischen Verfahren sind notwendig, um letztendlich ein transgenes Lebewesen herzustellen?

- Isolierung des Fremdgens
- Klonierung in einem Vektor
- Transformation und Selektion von Wirtsbakterien
- Isolation und Charakterisierung des rekombinierten Plasmids
- Übertragung und Einbau in das Genom des Zielorganismus
- Expression in den Zellen des Zielorganismus
- Expression in den Zellen der Wirtsbakterien



### Klonierung des GFP-Gens in einem Vektor

- Plasmide:
- zusätzlich zum Chromosom,
  - i. d. R. mehrfach vorhandene,
  - ringförmige,
  - relativ kleine (2000 – 8000 bp)
- DNA-Moleküle mit
- eigenem Replikationsstart,
  - also unabhängiger Vermehrung und
  - Genen für Antibiotika-Resistenzen und/oder anderen besonderen Stoffwechseleistungen



### Klonierung des GFP-Gens in einem Vektor

- Plasmid pGLO:
- **ori**: Replikationsstart
  - **bla**: Resistenz gegen das Antibiotikum Ampicillin
  - **GFP**: Gen für das grün fluoreszierende Protein



### Klonierung des GFP-Gens in einem Vektor

- Probleme bei der Expression eines eukaryotischen Fremd-Gens in Bakterien:
- Unterschiede in den Enzymen bei der Transkription und Translation;
  - Promotor- und anderen Regulationssequenzen;
  - Ribosomen

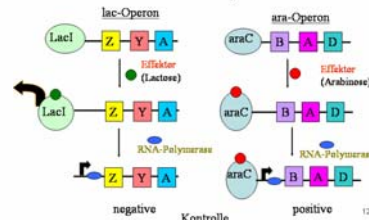


### Klonierung des GFP-Gens in einem Vektor

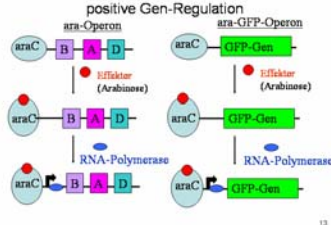
- Plasmid pGLO:
- **ori**: Replikationsstart
  - **bla**: Resistenz gegen das Antibiotikum Ampicillin
  - **GFP**: Gen für das grün fluoreszierende Protein
  - **p**: Promotor, bakteriell als Regulationssequenz
  - **o**: Operatorsequenz
  - **araC**: Gen für das "Schalter"-Eiweiß



### Genregulation bei der Transkription



### Klonierung des GFP-Gens in einem Vektor: positive Gen-Regulation



### Transformation: Aufnahme freier DNA-Moleküle

- Suspensieren der ampicillinsensitiven Wirtsbakterien in der Transformationslösung
- Zugabe der Plasmid-DNA in Lösung
- Kühlen der Reaktionsgefäße auf 0°C (Eis)
- kurzfristiger "Hitzeschock" bei 42°C, dann wieder auf Eis
- Zugabe von flüssigem Nährmedium
- Verteilen der Bakterien auf Agarplatten

### Transformation der Wirtsbakterien

- **Inkubation auf Eis**: verringert die Beweglichkeit der Zellmembran-Moleküle
- **"Hitze-Schock"**: erhöht die Durchlässigkeit der Zellmembran für die DNA
- **Inkubation im Flüssigmedium**: ermöglicht die Expression des Antibiotika-Resistenz-Gens

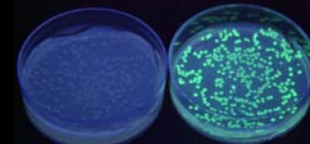
### Selektion der Wirtsbakterien: Wachstum? Leuchten?

Agarplatte	Vollmedium	Vollmedium + Amp	Vollmedium + Amp	Vollmedium + Amp/Ara
Bakterien	Wirtsbakterien	Wirtsbakterien	Transformanten	Transformanten
Erwartung	Wachstum	Kein Wachstum	Wachstum	Wachstum + Leuchten
Ergebnis				

### Selektion der Wirtsbakterien: beispielhaftes Ergebnis

Agarplatte	Vollmedium	Vollmedium + Amp	Vollmedium + Amp	Vollmedium + Amp/Ara
Bakterien	Wirtsbakterien	Wirtsbakterien	Transformanten	Transformanten
Ergebnis				
	Bakterienrasen	Keine Kolonien	384 Kolonien	327 Kolonien

### GFP-Expression in Bakterien: Leuchten unter der UV-Lampe



### Charakterisierung des rekombinierten GFP-Plasmids

- Einsatz von Restriktionsenzymen
- mehr als 3000 Enzyme bekannt
  - Bezeichnung nach der Bakterienart, z. B.: *Cla* I = *Cla*ryophanum *latum* I
  - entstanden als Schutz der Bakterien vor der Infektion mit viraler DNA



### Wirkungsweise I

- **Endonukleasen**: "schneiden" innerhalb der DNA-Stränge
- **spezifische Erkennungsstellen**: Bindung an 4 – 6 bp lange Sequenzen
- **Chime-Modell**



### Bsp.: Eco RI



### Wirkungsweise II

- **EcoRI**  
– *Escherichia coli*  
– freies 5'-Ende
- **PstI**  
– *Providencia stuartii*  
– freies 3'-Ende



### DNA-Restriktions-"Verdauung"

- **spezifische Restriktions-Puffer**: optimale Salz- und pH-Bedingungen für die Enzyme
- **spezifische Temp.**: i. d. R. 37 °C, bei höheren Temp.: Hitzedenaturierung bei niedrigeren Temp.: verlangsamte Reaktion (RGT-Regel)

### Sichtbarmachen des GFP-Plasmids

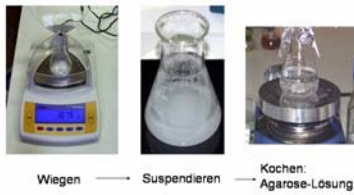
Methode: Agarose-Gelelektrophorese

Agarose: polymeres Kohlenhydrat aus der Zellwand von Rotalgen



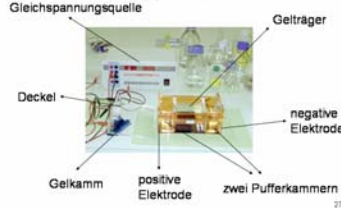


Agarose-Gelelektrophorese

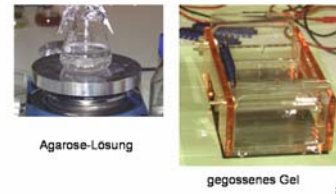


Wiegen → Suspendieren → Kochen: Agarose-Lösung

Agarose-Gelelektrophorese: Apparatur

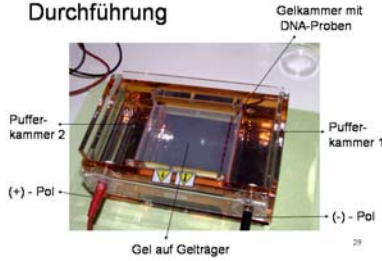


Agarose-Gelelektrophorese: Einsatz



Agarose-Lösung → gegossenes Gel

Durchführung



Isolation des rekombinierten GFP-Plasmids



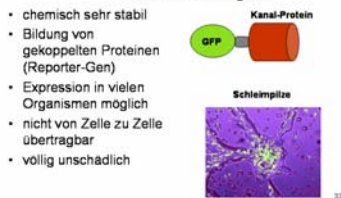
Isolation des rekombinierten GFP-Plasmids



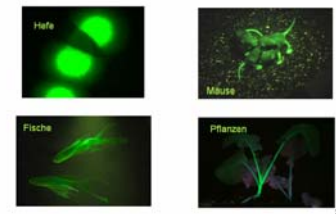
Aufgeworfene Fragen

1. Welcher Stoff verursacht das Leuchten?
2. Welche molekularbiologischen Verfahren sind notwendig, um letztendlich ein transgenes Lebewesen herzustellen?
3. Welche Bedeutung besitzt der grün leuchtende Stoff in der modernen Biologie?
4. Wie soll man ein solches Experiment ethisch bewerten?

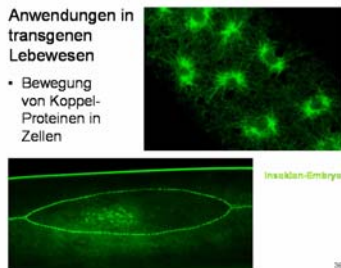
Welche Bedeutung besitzt das grün leuchtende Protein in der modernen Biologie?



Transgene Lebewesen



Anwendungen in transgenen Lebewesen



Aufgeworfene Fragen

1. Welcher Stoff verursacht das Leuchten?
2. Welche molekularbiologischen Verfahren sind notwendig, um letztendlich ein transgenes Lebewesen herzustellen?
3. Welche Bedeutung besitzt der grün leuchtende Stoff in der modernen Biologie?
4. Wie soll man ein solches Experiment ethisch bewerten?

Neue Fragen

1. Wann und welche Gene darf man in ein Lebewesen übertragen?
    - eigene und/oder fremde Gene?
    - in jedes Lebewesen, auch den Menschen?
  2. Wann und wozu darf man das Wissen aus der Analyse des Erbgutes anwenden?
    - grundsätzlich nicht?
    - nur zu bestimmten Zwecken?
- ⇒ ethische Fragen:  
Was darf/soll der Mensch tun?

Vergleich: Naturwissenschaft und Ethik

**Naturwissenschaft:**

- liefert empirische (= auf Erfahrungen beruhende) Daten
- ⇒ Kenntnisse und Techniken zu deren Anwendung
- ⇒ einheitliche Standards zur Gewinnung der Kenntnisse

**Ethik:**

- liefert Begründungen zu empirischen Resultaten
- ⇒ für die Bewertung: positiv oder negativ?
- ⇒ für die Anwendung und Umsetzung: zulässig oder nicht erlaubt?

Problem: Was sind „gute ethische Gründe“?

„Gute ethische Gründe“

- Gute ethische Gründe beruhen auf
1. einer überzeugenden Argumentation,
  2. allgemein überzeugend definierten Begriffen und
  3. der argumentativen Auseinandersetzung mit Gegenpositionen zur eigenen Bewertung

Beispiel beim Menschen



Keimbahn-Therapie

Behandlung von Erbkrankheiten in Embryonen

1. Notwendige Erzeugung von Embryonen für die Forschung ethisch nicht erlaubt; Menschenwürde des Embryos
2. keine zuverlässige Methoden bekannt ethisch nicht erlaubt; zu hohes Risiko

Unterscheidung:

- Berechnung eines Risikos: empirische Wissenschaft
- Bewertung eines Risikos: ethische Entscheidung



Gentherapie

Somatische Gentherapie

- ⇒ Übertragung von „therapierten“ Zellen: Ersatz fehlender oder defekter Gene

Problem: Gewebespezifität

- ⇒ Vektoren
- ⇒ genügende Anzahl an Zielzellen
- ⇒ dauerhafte Expression



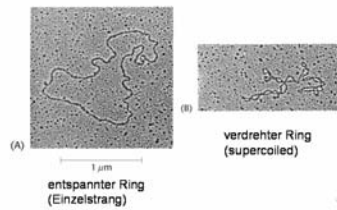
Beispiel einer ethische Beurteilung

empirische Abschätzung von Nutzen und Risiko: Behandlung einer tödlichen, erblichen Immunschwäche bei Kindern → Auslösen einer Krebserkrankung

ethische Schlussfolgerung: nicht zulässige Anwendung; Stoppen aller Studien (Dtsch)



Plasmid-Formen

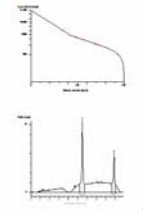


Analyse des Gels

Bestimmung der Fragmentlängen

- Eichkurve anhand des Längenstandards
- Bestimmung der Wanderstrecke im Gel für jedes Fragment
- Bestimmung der Fragmentlänge

Band	Reinwert
1	4484
2	1192

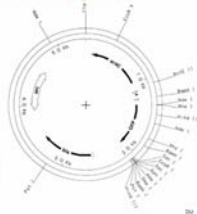


Restriktionskarte pGLO

Auswertung zahlreicher Versuche mit verschiedenen Enzymen

↓

Karte mit Schnittstellen der Enzyme



„Alba green“

- das grün leuchtende Kaninchen
- ein transgenes Tier
- ein „Kunstwerk“: transgenic art



Anhang 18: Überblick über die im nicht experimentellen Unterricht zusätzlich eingesetzten Powerpoint-Folien

Ergebnis:

Auftrennung der DNA-Moleküle: ↓

Anfärben der aufgetrennten Moleküle mit spezifischen Farbstoffen: ↓

Betrachtung unter UV-Licht: ↓

sichtbare Banden: Wanderungsgeschwindigkeit abh. von den Pufferbedingungen, der Agarose-Konzentration



Auswertung

Längen-Standard (bp)

23130, 9418, 6557, 4381, 2322, 2027, 564

Wanderungsgeschwindigkeit abh. von der Länge des DNA-Moleküls und seiner Form

Analyse des Gels

Reste von chromosomaler DNA: — entspannte, — verdrehte, GFP- Plasmid-DNA

Schnittstellen: 1 1 2 2 3 3

Bruchstücke: 1 1 2 2 3 3

Längenstandard: 23130, 9418, 6557, 4381, 2322, 2027

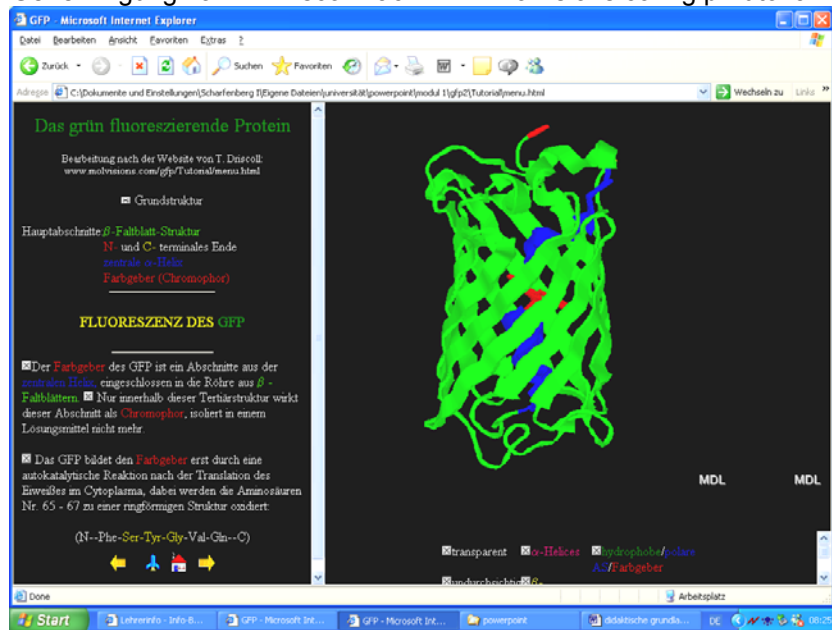
Anhang 19: Reihenfolge der im nicht experimentellen Unterricht eingesetzten Powerpoint-Folien (Nummern entsprechend Anh. 17 u. 18)

1 bis 19, 30, 31, 25 bis 29, 45 bis 47, 20 bis 24, 48 bis 50, 32 bis 44, 51.

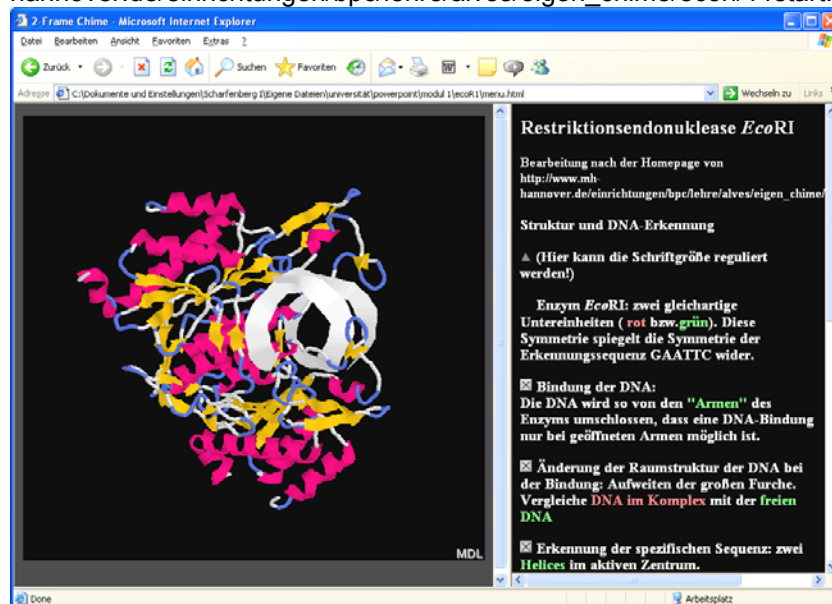
Anhang 20: Narrativer Einstiegstext

„Ich werde nie den Moment vergessen, als ich sie zum ersten Mal in meinen Armen hielt; das war in Jouy-en Josas, Frankreich. All meine Befürchtungen waren schließlich der Freude und Aufregung gewichen. Alba – so war sie von meiner Frau, meiner Tochter und mir genannt worden – war ein liebenswürdiges und liebevolles Geschöpf und es war eine Freude, mit ihr zu spielen. Wenn ich sie im Arm hielt, steckte sie verspielt ihren Kopf zwischen meinen Körper und meinen linken Arm, fand schließlich eine komfortable Position zum Verweilen und genoss meine sanften Streicheleinheiten. Sie weckte in mir sofort ein starkes und unwiderstehliches Gefühl, für ihr Wohlbefinden verantwortlich zu sein. Alba ist zweifellos ein besonderes Tier“ (Kac 2002, S. 46).

### Anhang 21: Screen-Shot der Startseite zur 3D-Animation des GFP (Bearbeitung mit freundlicher Genehmigung von T. Driscoll nach [www.molvisions.com/gfp/Tutorial/menu.html](http://www.molvisions.com/gfp/Tutorial/menu.html))



### Anhang 22: Screen-Shot der Startseite zur 3D-Animation des Restriktionsenzym *EcoRI* (Bearbeitung mit freundlicher Genehmigung von J. Alves nach [http://www.mh-hannover.de/einrichtungen/bpc/lehre/alves/eigen\\_chime/ecori/11start.htm](http://www.mh-hannover.de/einrichtungen/bpc/lehre/alves/eigen_chime/ecori/11start.htm))



### Anhang 23: Ergebnisse der Transformationsversuche bei den vier Kurstagen der Vorstudie 2003

An allen Kurstagen zeigten die Kontrollversuche mit den nicht transformierten Wirtsbakterien auf den LB-Agar-Platten einen Bakterienrasen und auf den LB-Amp-Agarplatten keine Kolonien.

Bei den pGLO-Transformanten wurden folgende Koloniezahlen erreicht (100 µl Bakteriensuspension, vgl. Anleitung Anh. 10):

Kurstag	Gruppe	LB-Amp-Platten	LB-Amp-Ara-Platten
1	1	18	13
	2	9	8
	3	23	21
2	1	60	58
	2	127	120

	3	16	13
3	1 – 3	-	- <sup>15</sup>
4	1	-	11
	2	9	8
	3	6	8

Aufgrund der eindeutigen Ergebnisse wurden die Koloniezahlen während der Hauptstudie nicht mehr erfasst.

**Anhang 24: Unterrichtszeiten im nicht experimentellen Unterricht**

Der nicht experimentelle Unterricht fand in insgesamt 14 Kursen statt, davon bei sechs Kursen in der Schule und bei acht Kursen im Labor (davon erhielten in der Voruntersuchung zwei Kurse noch zusätzliche Zeit zur eigenen Erarbeitung, dies ist hier nicht berücksichtigt).

Deskriptive Statistik

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Unterrichtszeit	14	85	120	96,79	12,186

**Anhang 25: Befragung der anwesenden Kursleiter (Gymnasiallehrer Biologie) zur Schülermitarbeit bei der Projektveranstaltung**

Alle anwesenden Kursleiter wurden im Anschluss an die Projektveranstaltung zur Bewertung der Schülermitarbeit wie folgt befragt (Rating-Skala mit folgenden Antwortmöglichkeiten: Bitte geben Sie bei den folgenden Fragen den Grad Ihrer Einschätzung an: außerordentlich (5) / ziemlich (4) / mittelmäßig (3) / kaum (2) / gar nicht (1) / kann ich nicht beurteilen (0)):

5.	Meine Kollegiaten haben heute konzentriert mitgearbeitet!
----	---

Ergebnisse:

Lehrer der	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Schul-	3	4,33	1,155	3	5
Labor-	2	5,00	,000	5	5
Experimental-Gr.	6	4,50	,548	4	5
Gesamt	11	4,55	,688	3	5

Es lassen sich keine wesentlichen Unterschiede feststellen.

**Anhang 26: Notenmäßige Bewertung der unterrichtlichen Erklärungen des Projektleiters**

Im Subtest Akzeptanz, Nachtest I und Nachtest II, wurden die Erklärungen des Projektleiters bei der Veranstaltung über ein Item mit Einfachantwort im Punktesystem der Kollegstufe bewertet. Der Punktwert wurde in die entsprechende Note umgerechnet und wie folgt codiert: sehr gut 5, gut 4, befriedigend 3, ausreichend 2, mangelhaft 1.

1. Überprüfung der Normalverteilung

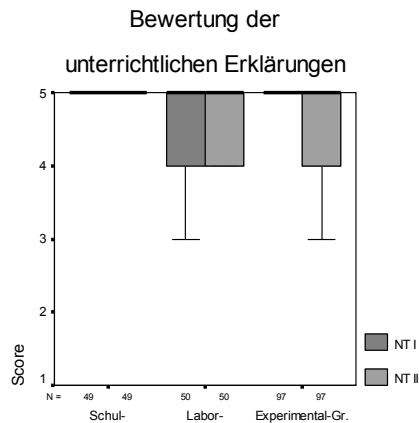
Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Bewertung Erklärungen NT I	Bewertung Erklärungen NT II
N		199	200
Parameter der Normalverteilung	Mittelwert	4,80	4,66
	Standardabweichung	,410	,615
Extremste Differenzen	Absolut	,493	,413
	Positiv	,317	,287
	Negativ	-,493	-,413
Kolmogorov-Smirnov-Z		6,948	5,836
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,000	,000

Die Antworten sind nicht normalverteilt.

2. Vergleich der Unterrichtsgruppen

<sup>15</sup> An diesem Kurstag hatten alle Gruppen die vorbereiteten Plasmid-Lösungen mit Wasser verdünnt.



Vergleich der Bewertung unterrichtlichen Erklärungen in den drei Unterrichtsgruppen  
Kruskal-Wallis-Test:  
Statistik für Test

	Bewertung Erklärungen NT I	Bewertung Erklärungen NT II
Chi-Quadrat	5,069	4,304
df	2	2
Asymptotische Signifikanz	,079	,116

Die Unterschiede sind nicht signifikant.

## Anhang 27: Abordnung des Untersuchungsleiters an die Universität Bayreuth

Abdruck  
Bayerisches Staatsministerium  
für Unterricht und Kultus

Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus  
80337 München

Richard-Wagner-Gymnasium Bayreuth  
Wittelsbacherring 9  
95444 Bayreuth

Richard-Wagner-Gymnasium  
Bayreuth  
Bay. 95444

Bei Zeichen: Bei Nachricht vom: Bitte bei Antwort angeben: Unser Zeichen: Telefon: München:  
VI/7-P5060S-2c/75 508 2335 01.08.2002

Oberstudienrat Franz Josef Scharfenberg (B, Ch);  
Abordnung

Anlage: 1 Abdruck dieses Schreibens

Mit Wirkung vom 1. September 2002 wird Oberstudienrat Franz Josef Scharfenberg aus dienstlichen Gründen (Einrichtung eines Zentrums zur Förderung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts an der Universität Bayreuth) bis einschließlich 31. August 2005 an die Universität Bayreuth abgeordnet (Art. 33, 35 BayBG).

Die Dienstbezüge sind für die Dauer der Abordnung bei Kap 15 24 Tit. 422 31 nachzuweisen.

Wegen evtl. Trennungsgeldansprüche wird empfohlen, sich mit der Regierung von Oberfranken in Verbindung zu setzen.

Beiliegender Abdruck ist für den Beamten bestimmt. Die Universität Bayreuth sowie die Bezirksfinanzdirektion Bayreuth erhalten einen Abdruck dieses Schreibens.

gez. Dr. Peter Müller  
Ministerialdirigent

Hamnadresse: Salvatorstraße 2, 80333 München  
LüBahn-Haltestelle: Odeonsplatz, U3, U4, U5, und U6  
Telefon: 089/2386-0  
Telefax: 089/2386-2800  
e-mail: pressestelle@stmu.w.k.bayern.de

## Anhang 28: Annahmen zur latenten Klassenanalyse (vgl. Rost 1996, S. 154 ff.)

- Alle Angehörigen einer Klasse  $g$  lösen das Item  $i$  mit einer konstanten Wahrscheinlichkeit richtig bzw. falsch.



$p(X_{vi} = 1 | \Theta_v = g) = \pi_{ig}$  bzw.  $p(X_{vi} = 0 | \Theta_v = g) = 1 - \pi_{ig}$ ;  
 $\pi_{ig}$ : konstante Lösungswahrscheinlichkeit des Items i in der Klasse g.  
 $1 - \pi_{ig}$ : Gegenwahrscheinlichkeit = Wahrscheinlichkeit, das Item i falsch zu beantworten.  
 Zusammenfassend:  
 $p(X_{vi} = x | \Theta_v = g) = \pi_{ig}^x (1 - \pi_{ig})^{1-x}$

- Jede Person gehört nur einer Klasse an, d.h. die Klassen sind disjunkt und exhaustiv.  
 Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit einer Person zur Klasse g:  $\pi_g = p(\Theta_v = g)$ ;  
 Summe aller Klassengrößen:

$$\sum_{g=1}^G \pi_g = 1$$

→ unbedingte Lösungswahrscheinlichkeit:

$$p(X_{vi} = 1) = \sum_{g=1}^G \pi_g \pi_{ig}$$

- Unter der Annahme der Itemhomogenität ergibt sich für die unbedingte Wahrscheinlichkeit eines Antwortmusters (Patternwahrscheinlichkeit):

$$p(\underline{x}) = \sum_{g=1}^G \pi_g p(\underline{x} | g)$$

- Unter der Annahme lokaler stochastischer Unabhängigkeit lassen sich die bedingten Patternwahrscheinlichkeiten bestimmen:

$$p(\underline{x} | g) = \prod_{i=1}^k \pi_{ig}^{x_i} (1 - \pi_{ig})^{1-x_i}$$

**Anhang 29: Reliabilität des Fragebogens zum Interesse in der Vorunteruntersuchung**

In der Voruntersuchung ergab eine Faktorenanalyse im Itempool der acht Interesse-Items drei Faktoren und ein Einzelitem.

Faktor 1: Interesse an gentechnischen Anwendungen beim Menschen;

Faktor 2: Interesse an gentechnischen Anwendungen zur Ernährung;

Faktor 3: Interesse an Beurteilungen der Gentechnik;

Einzelitem: Interesse an Anwendungen bei Tieren.

Folgende Werte für Cronbachs Alpha wurden berechnet:

Test	Gesamt	F1 (3 Items)	F2(2 Items)	F3(2 Items)
VT		0,633	0,513	0,204
NT I		0,392	0,679	0,455
NT II		0,639	0,528	0,549

Ein möglicher Grund für die niedrigen Werte ist die geringe Itemanzahl. Nach Rost (1996, S. 357)

lässt die Reliabilität für eine Testverlängerung um n Items berechnen:

$$Rel(X \times k) = k \times Rel(X) / 1 + (k - 1) \times Rel(X)$$

(Verlängerungsfaktor k = Itemanzahl X + n / Itemanzahl X).

Bei der Verlängerung auf jeweils vier Items sind folgende Reliabilitäten zu erwarten:

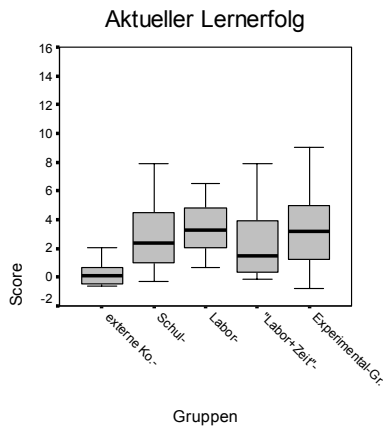
Test	Gesamt	F1 k = 1,33	F2 k = 2	F3 k = 2
VT		0,696	0,678	0,508
NT I		0,462	0,809	0,625
NT II		0,702	0,691	0,708

**Anhang 30: Beispielhafte Ergebnisse der Kontrollgruppe „Labor+Zeit“ zum Wissenserwerb in der Vorunteruntersuchung, die dazu führten, dass auf diese Kontrolle in der Hauptuntersuchung verzichtet worden ist.**

**1. Aktueller Lernerfolg der „Labor+Zeit-Gruppe“**

Der gewährte Zeitzuschlag zum selbständigen Nacharbeiten des Unterrichts führt zu einem geringeren aktuellen Lernerfolg (vgl. Kap. V 5.1) im Vergleich zu den beiden anderen Labor-Gruppen

(Labor- und Experimental-Gruppe).



Aktueller Lernerfolg in der Voruntersuchung

„Labor+Zeit“-Gruppe: Aktueller Lernerfolg (unter Einbezug einer Ratekorrektur, vgl. Bortz & Döring 1995, S. 196) signifikant niedriger als bei der Labor- und Experimental-Gruppe (U-Test nach Mann/Whitney mit  $p = 0,047$  bzw.  $0,044$ ).

### 2. Latente Klassenanalyse

Durch eine latente Klassenanalyse lassen sich die Schüler drei latenten Klassen<sup>16</sup> zuordnen: „Wenig-Köner“ (1), „Vorwissen-Köner“ (2) und „Viel-Köner“ (3) (vgl. auch Kap. V 4.3.2.2)<sup>17</sup>. In diesem klassifizierenden Modell zeigt sich ein Lernerfolg in einem Klassenwechsel von Klasse (1) in (2) und/oder (3) bzw. von (2) in (3) (Rost 1996, S. 275; vgl. z.B. Nerdel 2003, S. 49).

Dabei treten, bezogen auf den Nachtest, in der „Labor+Zeit“-Gruppe signifikant weniger Lerner als in der Experimental- und der nicht experimentellen Labor-Gruppe auf:

Relativer Anteil der Lerner: Schul- 0,588; Labor- 0,684; „Labor+Zeit“- 0,545; Experimental-Gr. 0,613;

Überprüfung der Verteilungen auf Abweichungen von der Erwartung mit dem exakten Fisher-Test:

Unterschiede „Labor+Zeit“- vs. Labor-Gr. mit  $p = 0,009$  und vs. Experimental-Gr. mit  $p = 0,004$  signifikant (außerdem Schul- vs. Experimental-Gr. mit  $p = 0,043$ ).

### 3. Antwortenhäufigkeiten der Schüler in der „Labor+Zeit“-Gruppe im Nachtest II auf die Frage: „Was hat Ihnen rückblickend am wenigsten gefallen?“

NT II	Häufigkeit	Prozent
Antworten		
keine Angabe	26	59,1
zu lang	5	11,4
etwas zu lang	1	2,3
Dauer	3	6,8
Länge Vortrag	1	2,3
etwas langwierig	2	4,5
zu spezifisch	1	2,3
Stoff zu trocken	1	2,3
zu theoretisch	1	2,3
viele Spezialbegriffe	1	2,3
teilweise unverständliche Fachbegriffe	1	2,3
unbequeme Sitze	1	2,3
Gesamt	44	100,0

Ca. 2/3 der antwortenden Schüler bemängeln die Länge der Unterrichtsveranstaltung: 12 von 18 Antworten lassen sich entsprechend charakterisieren.

## Anhang 31: Ergebnisse zum vorhandenen Vorwissen im Vortest der Voruntersuchung, die dazu führten, dass in der Hauptuntersuchung eine Lehrerbefragung zu diesem Aspekt durchgeführt wurde.

### 1. Überprüfung der Normalverteilung

Die Variable vorhandenes Wissen (Summenscore Vortest) ist nicht normalverteilt.

<sup>16</sup> Modell mit drei latenten Klassen: BIC-Index 8492,43; CAIC-Index 8542,43; Bootstrap-Schätzungen zur „Goodness of Fit“: CressieRead  $p = 0,250$ , Pearson  $\chi^2$   $p = 0,525$

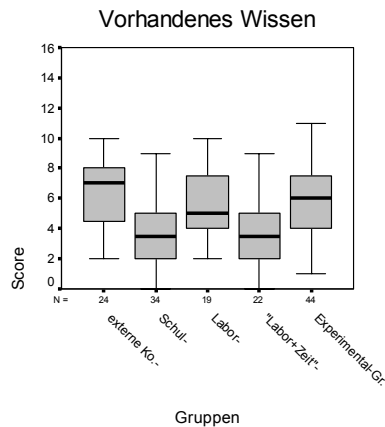
<sup>17</sup> Durchschnittliche Zuordnungswahrscheinlichkeiten: Klasse (1)  $p = 0,907$ ; Klasse (2)  $p = 0,935$ ; Klasse (3)  $p = 0,871$

**Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest**

		Vorhandenes Wissen
N		143
Parameter der Normalverteilung	Mittelwert	5,19
	Standardabweichung	2,685
Extremste Differenzen	Absolut	,126
	Positiv	,126
	Negativ	-,069
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,501
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,022

**2. Vergleich der Untersuchungsgruppen**

Die einzelnen Untersuchungsgruppen zeigen unterschiedliches vorhandenes Wissen im Vortest.



Vorhandenes Wissen im Vortest der Voruntersuchung

Diese Unterschiede werden mit dem Kruskal-Wallis-Test überprüft:

Statistik für Test: Gesamt N = 143

	Vorhandenes Wissen
Chi-Quadrat	26,797
df	4
Asymptotische Signifikanz	,000

Die Unterschiede sind höchst signifikant.

**Anhang 32: Ergebnisse der Voruntersuchung zum Wissenserwerb der externen Kontrollgruppe, die dazu führten, dass in der Hauptuntersuchung erneut eine externe Kontrolle zu diesem Aspekt durchgeführt wurde**

**1. Überprüfung der Normalverteilung der Wissensvariablen**

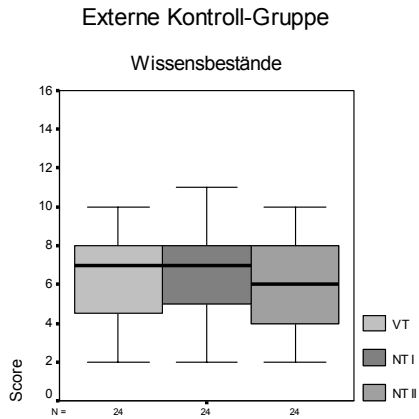
Die Variablen vorhandenes Wissen (vgl. Anh. 31) und persistentes Wissen (Summenscore Nachtest II) sind nicht normalverteilt.

**Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest**

		Aktuelles Wissen	Persistentes Wissen
N		143	143
Parameter der Normalverteilung	Mittelwert	8,96	6,85
	Standardabweichung	3,518	2,738
Extremste Differenzen	Absolut	,104	,118
	Positiv	,079	,118
	Negativ	-,104	-,090
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,241	1,409
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,092	,038

**2. Vergleich der Wissensänderung in der externen Kontroll-Gruppe über die drei Messzeitpunkte**

Das Wissen der externen Kontrolle ändert sich über die drei Testzeitpunkte nicht signifikant.



Wissensbestände der externen Kontroll-Gruppe in der Voruntersuchung zu den drei Messzeitpunkten: vorhandenes (VT), aktuelles (NT I) und persistentes (NT II) Wissen

Die Unterschiede werden mit dem Friedman-Test überprüft: keine Signifikanz.

Statistik für Test

N	24
Chi-Quadrat	,900
df	2
Asymptotische Signifikanz	,638

### 3. Latente Klassenanalyse

Durch eine latente Klassenanalyse lassen sich die Schüler drei latenten Klassen zuordnen: „Wenig-Köner“ (1), „Vorwissen-Köner“ (2) und „Viel-Köner“ (3) (zur Modell-Geltung und zur Lerner-Definition vgl. Anh. 30.2 und allgemein Kap. V 4.3.2.2)

Dabei treten, bezogen auf den Nachtest auch in der externen Kontroll-Gruppe Lerner auf: relativer Anteil der Lerner: 0,375.

Auch wenn dies signifikant weniger Lerner als in den Unterrichtsgruppen sind (Schul- (0,588); Labor- (0,684); Labor+Zeit- (0,545) und der Experimental-Gruppe (0,613)), erschien eine erneute Überprüfung in der Hauptuntersuchung als sinnvoll.

Überprüfung der Verteilungen auf Abweichungen von der Erwartung mit dem exakten Fisher-Test: Unterschiede externe vs. Schul-Gruppe mit  $p = 0,007$ , vs. Labor- mit  $p = 0,006$ , vs. Labor+Zeit- mit  $p = 0,020$  und vs. Experimental-Gruppe mit  $p = 0,000$  signifikant.

## Anhang 33: Soziodemographische Daten der Stichprobe: Angabe der Werte jeweils für die Stichprobe Wissenserwerb bzw. reine Hauptuntersuchung

### 1. Alter

Deskriptive Statistik Wissenserwerb

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Alter	363	16	21	18,02	,685

Deskriptive Statistik: reine Hauptuntersuchung

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Alter	242	17	21	18,05	,689

### 2. Geschlecht:

Geschlecht Wissenserwerb

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	weiblich	277	76,3	76,3	76,3
	männlich	86	23,7	23,7	100,0
	Gesamt	363	100,0	100,0	

Geschlecht reine Hauptuntersuchung

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	weiblich	188	77,7	77,7	77,7
	männlich	54	22,3	22,3	100,0
	Gesamt	242	100,0	100,0	

Geschlechterverteilung der einzelnen Untersuchungsgruppen

Untersuchungsgruppen			weiblich	männlich
externe Ko.-	Geschlecht	Anzahl	31	5
		%	86,1%	13,9%

Schul-	Geschlecht	Anzahl	68	15
		%	81,9%	18,1%
Labor-	Geschlecht	Anzahl	55	17
		%	76,4%	23,6%
Experimental-Gr.	Geschlecht	Anzahl	102	44
		%	69,9%	30,1%

Kreuztabelle

		Gruppen				Gesamt	
		externe Ko.-	Schul-	Labor-	Experimental-Gr.		
Geschlecht	weiblich	Anzahl	31	68	55	102	256
		Erwartete Anzahl	27,3	63,1	54,7	110,9	256,0
	männlich	Anzahl	5	15	17	44	81
		Erwartete Anzahl	8,7	19,9	17,3	35,1	81,0
Gesamt		Anzahl	36	83	72	146	337
		Erwartete Anzahl	36,0	83,0	72,0	146,0	337,0

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Exakter Test nach Fisher	6,401	,092
Anzahl der gültigen Fälle	337	

**3. Schulzweig<sup>18</sup>:**

Schulzweig: Wissenserwerb

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	MNG	159	43,8	44,4	44,4
	NG	115	31,7	32,1	76,5
	WG	40	11,0	11,2	87,7
	SG	15	4,1	4,2	91,9
	MuG	19	5,2	5,3	97,2
	HuG	10	2,8	2,8	100,0
	Gesamt	358	98,6	100,0	
Fehlend	keine Angabe	5	1,4		
Gesamt		363	100,0		

Schulzweig: reine Hauptuntersuchung

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	MNG	89	36,8	37,2	37,2
	NG	79	32,6	33,1	70,3
	WG	38	15,7	15,9	86,2
	SG	15	6,2	6,3	92,5
	MuG	10	4,1	4,2	96,7
	HuG	8	3,3	3,3	100,0
	Gesamt	239	98,8	100,0	
Fehlend	keine Angabe	3	1,2		
Gesamt		242	100,0		

<sup>18</sup> MNG: mathematisch-naturwissenschaftliches Gymnasium; NG: neusprachliches Gymnasium; WG: wirtschaftswissenschaftliches Gymnasium; SG: sozialwissenschaftliches Gymnasium; MuG: musikalisches Gymnasium; HuG: humanistisches Gymnasium.

**Anhang 34: Genehmigung der Studie durch das Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultus**

Bayerisches Staatsministerium  
für Unterricht und Kultus

Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus  
80333 München

Universität Bayreuth  
Lehrstuhl Didaktik der Biologie  
z. Hd. Herrn Prof. Dr. Siegfried Klautke  
Gebäude: NW 1  
Universitätsstr. 30  
954470 Bayreuth

Dr. Städele  
19.12.2002

Herrn Prof. Dr. Siegfried Klautke  
VI.1 - O 5106 - 6.141 685

Telefon  
(0917) 2316

München  
07.02.2003

Erhebungen an Schulen;  
hier: Durchführung einer wissenschaftlichen Untersuchung an nordbayerischen Gymnasien zur Evaluation des Demonstrationslabors Bio-/Gentechnik

Sehr geehrter Herr Prof. Dr. Klautke,

das Staatsministerium genehmigt die in Ihrem Schreiben vom 19.12.2002 beantragte Befragung von Schülern der Leistungskurse Biologie im Rahmen Ihrer wissenschaftlichen Untersuchung an nordbayerischen Gymnasien zur Evaluation des Demonstrationslabors Bio-/Gentechnik.

Die Genehmigung ist an folgende Auflagen gebunden:

- Die Schule und die betreffenden Fachlehrkräfte müssen mit der Durchführung der Befragung einverstanden sein. Die Mitwirkung aller Beteiligten ist freiwillig; sie werden darauf ausdrücklich hingewiesen. Vor der Durchführung der Befragung sind bei noch nicht volljährigen Schülern die Erziehungsberechtigten über Inhalt und Zweck der Untersuchung und über die freiwillige Teilnahme zu informieren.
- Die datenschutzrechtlichen Bestimmungen sind zu beachten, insbesondere muss die Anonymität der Betroffenen gewahrt bleiben; aus der Auswertung der Untersuchung dürfen keine Rückschlüsse auf einzelne Schulen, Lehrkräfte, Eltern oder Schüler möglich sein.

3. Die Durchführung der Befragung darf nicht innerhalb der regulären Unterrichtszeit stattfinden.

4. Die Aufsichtspflicht liegt während der Befragung bei der Schule.

5. Der Fragebogen darf nicht vom vorgelegten Muster abweichen. Insbesondere wird auf das Verbot der kommerziellen Werbung in Schulen (Art. 84 Abs. 1 BayEUG) hingewiesen.

Mit freundlichen Grüßen

*Städele*

Dr. Städele  
Ministerialrat

Hausadresse: Salvatorstraße 2, 80333 München  
E-Mail-Adresse: O 5106 - 6.141 685  
Telefon: (0917) 2316-0  
Telefax: (0917) 2316-2800  
E-Mail: poststelle@stmuwk.bayern.de

**Anhang 35: Beurteilung der Repräsentativität der Stichprobe im Vergleich zu allen oberfränkischen Teilnehmern an einem Biologie-Leistungskurs im Schuljahr 2003/04**

Die Abweichung der beobachteten von der erwarteten Verteilung wird mit dem exakten Fisher-Test überprüft.

**1. Geschlecht:**

Kreuztabelle

		Geschlecht		Gesamt	
		Mädchen	Junge		
Gesamt- untersuchung	Untersuchung	Anzahl	277	86	363
		Erwartete Anzahl	266,5	96,5	363,0
	Ofr.	Anzahl	402	160	562
		Erwartete Anzahl	412,5	149,5	562,0
Gesamt		Anzahl	679	246	925
		Erwartete Anzahl	679,0	246,0	925,0

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Exakter Test nach Fisher		,110
Anzahl der gültigen Fälle	925	

Es ergibt sich keine Signifikanz.

**2. Schulzweig:**

Kreuztabelle

		Schulzweig		Gesamt	
		MNG	nicht MNG		
Gesamt- untersuchung	Untersuchung	Anzahl	159	199	358
		Erwartete Anzahl	151,0	207,0	358,0
	Ofr.	Anzahl	229	333	562
		Erwartete Anzahl	237,0	325,0	562,0
Gesamt		Anzahl	388	532	920
		Erwartete Anzahl	388,0	532,0	920,0

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Exakter Test nach Fisher		,274
Anzahl der gültigen Fälle	920	

Es ergibt sich keine Signifikanz

### 3. Zweiter Leistungskurs:

Kreuztabelle

		2. Leistungskurs		Gesamt	
		math.-nat.	nicht math.-nat.		
Gesamt- untersuchung	Untersuchung	Anzahl	84	279	363
		Erwartete Anzahl	74,2	288,8	363,0
	Ofr.	Anzahl	105	457	562
		Erwartete Anzahl	114,8	447,2	562,0
Gesamt		Anzahl	189	736	925
		Erwartete Anzahl	189,0	736,0	925,0

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Exakter Test nach Fisher		,113
Anzahl der gültigen Fälle	925	

Es ergibt sich keine Signifikanz.

## Anhang 36: Vortest: Fragebogenabschnitt soziodemographische Daten (li.) und Subtest Interesse (re.)

**Fragebogen zur Evaluation des Demonstrationslabors Bio-/Gentechnik an der Universität Bayreuth**  
Vortest am 3.11.2004, M I

Sie nehmen zusammen mit den anderen Mitgliedern Ihres Leistungskurses Biologie an einer Veranstaltung im Rahmen der Evaluation des Demonstrationslabors Bio-/Gentechnik teil, dafür möchte ich mich bei Ihnen bedanken.

- Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen wahrheitsgemäß.
- Falls Sie eine Antwort nicht wissen sollten, lassen Sie die Frage einfach aus.
- Kreuzen Sie bei den angegebenen Aussagen die Feststellung an, die auf Sie am meisten zutrifft (bitte jeweils nur eine Antwort).
- Bitte berücksichtigen Sie nicht, was nach Ihrer Meinung Ihr Kursleiter oder der Projektleiter als Antwort erwarten könnten, sondern geben Sie Ihre Einstellung oder Meinung an.

Ich versichere Ihnen, dass alle Ihre Angaben anonym ausgewertet werden, so dass kein Rückschluss auf Sie persönlich möglich ist; auch an Ihren Kursleiter wird kein Fragebogen zurückgegeben. Ihr Name bleibt geheim; um jedoch eine Zuordnung der verschiedenen Tests zu ermöglichen, muss Ihr Fragebogen verschlüsselt codiert werden. Dazu dienen folgende Angaben (bitte mit Angabe der Null, bspw. 04 = April):

Mein Geburtsdatum: Tag: 03, Monat: 12, Jahr: 1984, Ich bin weiblich: , männlich:

So lauten die ersten beiden Buchstaben vom Vornamen meiner Mutter: E L

	MNG	NG	SG	HuG	MuG	WG
1. Welchen Schulzweig haben Sie bis zur Kollegstufe besucht?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Wie häufig wurden bisher in folgenden Fächern im Unterricht Experimente vorgeführt?	Immer	oft	gelegentlich	selten	nie	
2.1 im Fach Biologie:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.2 im Fach Chemie:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.3 im Fach Physik:	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3. Wie häufig haben Sie bisher in folgenden Fächern selbst Experimente durchgeführt?						
3.1 im Fach Biologie:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3.2 im Fach Chemie:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3.3 im Fach Physik:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4. Wie häufig haben Sie bisher selbst Experimente außerhalb des schulischen Unterrichts durchgeführt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5. Wie häufig haben Sie bisher im Leistungskurs Biologie eine Power-Point-Präsentation erlebt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6.1 Mein zweiter Leistungskurs: Englisch						
6.2 Meine Klausurergebnisse im LK Biologie 12/1: 1. Klausur: ...6... Pkt. 2. Klausur: ...3... Pkt.						

Kreuzen Sie an, wie gern Sie mehr über die folgenden Themen aus der Gentechnik wissen möchten:

	gar nicht	kaum	mittelmäßig	ziemlich	außerordentlich
24. Risiken, die mit der Freisetzung von gentechnisch veränderten Lebewesen verbunden sind;	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25. Änderung von Fleisch-Eigenschaften durch eine Übertragung von Schweine-Erbgut auf Rinder;	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26. Erfolge der medizinischen Anwendungen beim Menschen;	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27. moralische Begründungen von Grenzen der Gentechnik;	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28. Einsatzmöglichkeiten von genetischen Fingerabdrücken;	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29. Förderung des Ernteertrags bei gentechnisch veränderten Weizen;	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30. Verringerung der Ernteverluste durch Schädlinge bei Nutzpflanzen;	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31. Qualitätsverbesserungen von Lebensmitteln;	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
32. Genwirkungen beim Menschen;	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
33. ethische Beurteilung der gentechnischen Anwendungen.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34. Entwicklung neuer Medikamente für den Menschen mit Hilfe der Gentechnik;	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35. Aussichten, umstrittene Anwendungen der Gentechnik rechtlich zu regeln.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Anhang 37: Vortest: Fragebogenabschnitt Subtest Wissenserwerb**

Bei den folgenden Fragen ist jeweils nur eine Antwort richtig. Falls Sie eine Antwort nicht wissen, lassen Sie die Frage bitte aus!

53. Das grün fluoreszierende Protein kann für verschiedenste Anwendungen in der Molekularbiologie eingesetzt werden, weil
- a) es durch sein Leuchten im Infrarotlicht leicht sichtbar ist.
  - b) es sich leicht an andere Proteine koppeln lässt.
  - c) es sich in einem Organismus von Zelle zu Zelle ausbreiten kann.
  - d) sein Farbgeber auch allein wirksam ist.

54. Die richtige Reihenfolge der Teilschritte bei einer Transformation ist:
- a) Hitzeschock → Zellen in Transformationslösung → Zellen in Nährmedium.
  - b) Zellen in Transformationslösung → Zellen in Nährmedium → Hitzeschock.
  - c) Zellen in Nährmedium → Hitzeschock → Zellen in Transformationslösung.
  - d) Zellen in Transformationslösung → Hitzeschock → Zellen in Nährmedium.

55. Ein Plasmid zur Expression eines artfremden Gens soll neu kombiniert werden. Transformierte Bakterien werden das fremde Eiweiß herstellen, wenn im Plasmid folgende DNA-Abschnitte hintereinander liegen:
- a) Resistenzgen → Fremdgen → Replikationsstart.
  - b) Replikationsstart → Fremdgen → bakterielle Regulationssequenz.
  - c) bakterielle Regulationssequenz → Fremdgen → Resistenzgen.
  - d) Fremdgen → Replikationsstart → bakterielle Regulationssequenz.

56. Bei einer Transformation müssen die Bakterien in der Transformationslösung
- a) kurzfristig erhitzt werden, damit sie die DNA aufnehmen.
  - b) bei Raumtemperatur gehalten werden, damit sie sich wieder vermehren.
  - c) ausplattiert werden, damit sichtbare Kolonien erkennbar werden.
  - d) im Eisbad gekühlt werden, damit sie die DNA aufnehmen.

57. Bei einer Transformation werden die Wirtsbakterien auf ein Vollmedium ausplattiert, um zu überprüfen, dass sie nicht
- a) resistent gegen einen Inhaltsstoff des Vollmediums sind.
  - b) das transformierte Plasmid schon enthalten.
  - c) durch den Versuchsablauf beeinflusst worden sind.
  - d) durch einen Inhaltsstoff des Vollmediums geschädigt worden sind.

Bei den folgenden Fragen ist wieder jeweils nur eine Antwort richtig. Falls Sie eine Antwort nicht wissen, lassen Sie die Frage bitte aus!

65. Bei einer positiven Kontrolle über ein Operon startet das „Schaltermolekül“ die
- |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Translation der DNA.     | Translation der m-RNA.   | Transkription der m-RNA. | Transkription der DNA.   |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

66. Ein Bakterienstamm wird mit einem Plasmid transformiert, das Gene für die Neomycin- und Ampicillinresistenz enthält und dann auf die zwei angegebenen Agarplatten ausplattiert:
- Welches der folgenden Versuchsergebnisse stimmt (+ = Wachstum; - = kein Wachstum)?
- |          |                            |                              |                            |   |
|----------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|---|
| Platte 1 | Vollmedium mit Neomycin: + | Vollmedium mit Ampicillin: - | Vollmedium mit Neomycin: + | Vollmedium mit Ampicillin und Neomycin: + |
| 2        | Vollmedium: -              | Vollmedium: +                | Vollmedium: +              | Vollmedium: -                             |
|          | <input type="checkbox"/>   | <input type="checkbox"/>     | <input type="checkbox"/>   | <input type="checkbox"/>                  |

67. Das Plasmid pGLO enthält folgenden Sequenzausschnitt:  
5'...ATC ATC GAT GCA TAA TGT... 3'

- 67.1 Welches der vier Restriktionsenzyme - ihre Schnittstellen sind angegeben (↓) - schneidet in diesem Ausschnitt?
- |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Eco RI:                  | Pst I:                   | Bam HI:                  | Cla I:                   |
| 5'...G↓AATTC...3'        | 5'...CTGCA↓G...3'        | 5'...G↓GATCC...3'        | 5'...AT↓CGAT...3'        |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

- 67.2 Im ganzen Plasmid sind 3 Schnittstellen für das Restriktionsenzym Bam HI und 1 Schnittstelle für das Restriktionsenzym Eco RI vorhanden. Wie viele Bruchstücke entstehen in diesem Fall? .....

Bei den folgenden Fragen ist wieder jeweils nur eine Antwort richtig. Falls Sie eine Antwort nicht wissen, lassen Sie die Frage bitte aus!

58. Folgende Bestandteile gehören zu einer Elektrophorese-Apparatur:
- a) eine Elektrode, zwei Pufferkammern, ein Gelträger.
  - b) zwei Elektroden, zwei Pufferkammern, zwei Gelträger.
  - c) zwei Elektroden, eine Pufferkammer, zwei Gelträger.
  - d) zwei Elektroden, zwei Pufferkammern, ein Gelträger.

59. Eine Plasmid-DNA wird in der Chromatographiesäule gebunden, weil die DNA und das Säulenmaterial über ..... miteinander verknüpft werden.
- |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| H-Brückenbindungen       | Ionenbindungen           | van-der-Waals-Kräfte     | Atombindungen            |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

60. Eukaryoten und Prokaryoten gleichen sich bei der Transkription in der Nutzung derselben
- |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Basenkomplementarität.   | Regulationssequenzen.    | Enzymsysteme.            | Genstruktur.             |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

61. Bei einer Transformation nimmt eine Bakterienzelle nur ..... DNA-Abschnitte auf.
- |                          |                          |                                     |                          |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| ringförmige              | lineare                  | chromosomale                        | freie                    |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

62. Restriktionsenzyme spalten Nukleinsäuren nur an spezifischen Stellen im
- |                               |                                     |                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| einzelsträngigen RNA-Molekül. | doppelsträngigen DNA-Molekül.       | doppelsträngigen RNA-Molekül. | einzelsträngigen DNA-Molekül. |
| <input type="checkbox"/>      | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>      | <input type="checkbox"/>      |

63. Ein artfremdes Eiweiß kann von Wirtsbakterien hergestellt werden, wenn sein Gen mit einem ..... gekoppelt ist.
- |                          |                          |                                       |                                      |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| eukaryotischen Promotor  | prokaryotischen Operator | prokaryotischen Operator und Promotor | eukaryotischen Operator und Promotor |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>              | <input type="checkbox"/>             |

64. DNA-Moleküle werden in der Elektrophorese aufgetrennt, weil sie als Bausteine die ..... enthalten.
- |                          |                                     |                          |                          |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Phosphatgruppen          | Purinbasen                          | Desoxyribose             | Pyrimidinbasen           |
| <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |



**Anhang 38: Nachtest: Fragebogenabschnitt Subtest Akzeptanz (Ii. Kontrollgruppe, re. Experimentalgruppe)**

7. Wie bewerten Sie im Punktesystem der Kollegstufe die heutige Veranstaltung zur Bio-/Gentechnik: 10

7.1 die heutige Veranstaltung zur Bio-/Gentechnik: 10

7.2 die Erklärungen des Projektleiters bei der heutigen Veranstaltung: 10

8.1 Was hat Ihnen bei der Veranstaltung heute am besten gefallen (zwei Angaben): Alles, was in der Theorie war, die Erklärungen

8.2 Was hat Ihnen bei der Veranstaltung heute am wenigsten gefallen (zwei Angaben): maximal zu ausführlich

Bitte geben Sie bei den folgenden Fragen den Grad Ihrer Einschätzung an:

	gar nicht	kaum	mittelmäßig	ziemlich	äußerordentlich	kann ich nicht beurteilen
9. Wie gerne würden Sie einen weiteren Tag an einer solchen Veranstaltung teilnehmen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Wie sehr haben Sie die eingesetzten Hilfsmittel verstanden?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Wie bekannt sind Ihnen Powerpoint-Präsentationen aus dem bisherigen Unterricht im Leistungskurs Biologie?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Wie viel Spaß hat Ihnen die heutige Veranstaltung gemacht?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Wie bekannt war Ihnen das heute dargebotene Wissen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9. Wie gerne würden Sie einen weiteren Tag an einer solchen Veranstaltung teilnehmen?

10. Wie sehr haben Sie die eingesetzten Versuchsvorschriften verstanden?

11. Wie bekannt sind Ihnen Powerpoint-Präsentationen aus dem bisherigen Unterricht im Leistungskurs Biologie?

12. Wie viel Spaß hat Ihnen die heutige Veranstaltung gemacht?

13. Wie bekannt war Ihnen das heute dargebotene Wissen?

14. Wie schwierig war es für Sie, die einzelnen Folien bzw. den anderen Unterrichtsmitteln zu folgen?

15. Wie neu waren für Sie die heutigen Beispiele im Unterricht?

16. Würden die einzelnen Unterrichtsschritte für Sie zu schnell durchgeführt?

17. Wie deutlich haben Sie heute ein Bezug zu Ihrem bisherigen Wissen erkannt?

18. Wie schwierig war es für Sie heute, dem Unterricht zu folgen?

19. Inwieweit waren Ihnen die heute vorgestellten Experimente unbekannt?

Bitte bewerten Sie die folgenden Aussagen:

Diese Aussage stimmt	völlig	ziemlich	teilweise	wenig	gar nicht	kann ich nicht beurteilen
44. Durch die heutige Veranstaltung habe ich mehr als im bisherigen Unterricht über Gentechnik gelernt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. Wie bewerten Sie im Punktesystem der Kollegstufe die heutige Veranstaltung zur Bio-/Gentechnik: 14

7.1 die heutige Veranstaltung zur Bio-/Gentechnik: 14

7.2 die Erklärungen des Projektleiters bei der heutigen Veranstaltung: 15

8.1 Was hat Ihnen bei der Veranstaltung heute am besten gefallen (zwei Angaben): verständlich ausgearbeitete Präsentation, einbezogen in das praktische Vorgehen

8.2 Was hat Ihnen bei der Veranstaltung heute am wenigsten gefallen (zwei Angaben): hätte gerne mehr Zeit, Zeitverschiebung

Bitte geben Sie bei den folgenden Fragen den Grad Ihrer Einschätzung an:

	gar nicht	kaum	mittelmäßig	ziemlich	äußerordentlich	kann ich nicht beurteilen
9. Wie gerne würden Sie einen weiteren Tag an einer solchen Veranstaltung teilnehmen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Wie sehr haben Sie die eingesetzten Versuchsvorschriften verstanden?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Wie bekannt sind Ihnen Powerpoint-Präsentationen aus dem bisherigen Unterricht im Leistungskurs Biologie?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Wie viel Spaß hat Ihnen die heutige Veranstaltung gemacht?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Wie bekannt war Ihnen das heute dargebotene Wissen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9. Wie gerne würden Sie einen weiteren Tag an einer solchen Veranstaltung teilnehmen?

10. Wie sehr haben Sie die eingesetzten Versuchsvorschriften verstanden?

11. Wie bekannt sind Ihnen Powerpoint-Präsentationen aus dem bisherigen Unterricht im Leistungskurs Biologie?

12. Wie viel Spaß hat Ihnen die heutige Veranstaltung gemacht?

13. Wie bekannt war Ihnen das heute dargebotene Wissen?

14. Wie schwierig war es für Sie, die einzelnen Arbeitsschritte durchzuführen?

15. Wie neu waren für Sie die heutigen Beispiele im Unterricht?

16. Würden die einzelnen Experimente für Sie zu schnell durchgeführt?

17. Wie deutlich haben Sie heute ein Bezug zu Ihrem bisherigen Wissen erkannt?

18. Wie schwierig war es für Sie heute, dem Unterricht zu folgen?

19. Inwieweit waren Ihnen die heute durchgeführten Experimente unbekannt?

Bitte bewerten Sie die folgenden Aussagen:

Diese Aussage stimmt	völlig	ziemlich	teilweise	wenig	gar nicht	kann ich nicht beurteilen
44. Durch die heutige Veranstaltung habe ich mehr als im bisherigen Unterricht über Gentechnik gelernt.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Anhang 39: Zeitdifferenzen zwischen den einzelnen Messzeitpunkten**

Deskriptive Statistik

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Zeitdifferenz Vor-/Nachtest	25	2	19	9,72	4,783
Zeitdifferenz Nachtest I/II	27	30	72	46,22	10,548

Aufgrund fehlender Informationen liegen nicht für alle 29 Kurse alle Daten vor. Die Schwankungen in den Zeitabständen beruhen auf organisatorischen Problemen in den jeweiligen Schulen und/oder unvermeidbaren Ferienzeiten.

**Anhang 40: Kenntnis des Mediums Powerpoint-Präsentation im Unterricht des Biologie-Leistungskurses**

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig				
gar nicht	134	55,4	55,8	55,8
kaum	31	12,8	12,9	68,8
mittelmäßig	44	18,2	18,3	87,1
ziemlich	31	12,8	12,9	100,0
Gesamt	240	99,2	100,0	
Fehlend	Keine Angabe	2	,8	
Gesamt		242	100,0	

**Anhang 41: Zusammenfassung des schrittweisen Vorgehens bei der untersuchungstechnischen Analyse des Subtests Akzeptanz**

Vorbemerkung: Die Probandenzahl für die Auswertung ist um die Anzahl der Schüler erhöht, die das Modul II besucht haben (N = 80, vgl. Anh. 4).

**1. Überblick über die Testitems**

Umpolung negativ formulierter Items für eine gleichsinnige Polung (vgl. Rost 1996, S. 90)

Wie bewerten Sie im Punktesystem der Kollegstufe	NT	NT II	Faktor nach der Voruntersuchung	Umpolung
die heutige Veranstaltung zur Bio-/Gentechnik:	7.1	7.1	affektiv	
die Erklärungen des Projektleiters bei der heutigen Veranstaltung:	7.2	7.2	affektiv	
Wie gerne würden Sie einen weiteren Tag an einer solchen	9.	15.	affektiv	

Veranstaltung teilnehmen?				
Wie sehr haben Sie die eingesetzten Hilfsmittel verunsichert?	10.	12.	instrumentell	+
Wie viel Spaß hat Ihnen die heutige Veranstaltung gemacht?	12.	11.	affektiv	
Wie bekannt war Ihnen das heute dargebotene Wissen?	13.	10.	vorwissenbezogen	+
Wie schwierig war es für Sie, den einzelnen Folien bzw. den anderen Unterrichtsmitteln zu folgen?	14.	9.	instrumentell	+
Wie neu waren für Sie die heutigen Beispiele im Unterricht?	15.	13.	vorwissenbezogen	
Wurden die einzelnen Unterrichtsschritte für Sie zu schnell durchgeführt?	16.	14.	instrumentell	+
Wie deutlich haben Sie heute ein Bezug zu Ihrem bisherigen Wissen erkannt?	17.	16.	vorwissenbezogen	
Wie schwierig war es für Sie heute, dem Unterricht zu folgen?	18.	18.	instrumentell	+
Inwieweit waren Ihnen die heute vorgestellten Experimente unbekannt?	19.	17.	vorwissenbezogen	
Durch die heutige Veranstaltung habe ich mehr als im bisherigen Unterricht über Gentechnik gelernt.	44.	48.	vorwissenbezogen	

## 2. Faktorenanalyse des Nachtests

Durch die Faktorenanalyse wird überprüft, ob die drei in der Voruntersuchung festgestellten Faktoren erneut identifizierbar sind. Sie ist die Grundlage für die folgenden Reliabilitäts- und Trennschärfenanalysen.

Ladung auf Faktor/Komponente			Kommunalität	Item
1	2	3		
Affektive Bewertung	Bewertung des instrumentellen Handelns	Vorwissenbezug		
0,72			0,53	Weiterer Tag
0,69			0,49	Bewertung Veranstaltung
0,73			0,54	Spaß Veranstaltung
0,52			0,42	Mehr als im bisherigen Unterricht gelernt
0,51			0,28	Bewertung Erklärungen
0,41			0,38	Erkennen eines Bezugs zum bisherigen Wissen
	0,75		0,57	Keine Schwierigkeit den Unterrichtsmitteln zu folgen
	0,61		0,49	Genügend Zeit für die Unterrichtsschritte/Experimente
	0,56		0,48	Keine Schwierigkeit dem Unterricht zu folgen
	0,55		0,32	Keine Verunsicherung durch Hilfsmittel
		0,78	0,61	Neuheit der Beispiele im Unterricht
		0,69	0,50	Unbekanntheit der vorgestellten Experimente
		0,68	0,50	Bekanntheit des dargebotenen Wissens
2,5	1,7	1,9		Eigenwerte der rotierten Faktoren
19,2	12,9	14,8	Summe: 46,9	Durch Faktoren aufgeklärten Varianzanteil

Die Analyse zeigt, dass die drei Faktoren erneut feststellbar sind.

### 2.1 Stabilität der Faktorenstruktur

Sie wird nach Bortz (1999, S. 507) berechnet:

$FS = 1 - (1,10 \times X_1 - 0,12 \times X_2 + 0,066)$  mit  $X_1 = 1/\sqrt{N}$  und  $X_2 =$  minimaler berücksichtigter Ladungswert (mit  $N = 243$  und  $X_2 = 0,41$ :  $FS = 0,91$ ). Dieser Wert liegt über dem von Bortz angegebenen Grenzwerten ( $< 0,8$  nicht zu interpretieren,  $\geq 0,9$  hinreichend stabil). Die Kommunalitäten geben an, welche Varianz einer Variable durch alle Faktoren erklärbar ist, je geringer der Wert ist, desto größer der spezifische Charakter der Variable (entspr. höhere Residualvarianz), d.h. der spezifische Charakter ist bei zwei Items (7.2 und 10) relativ hoch.

### 2.2 Gütekriterien nach Brosius (1989, 141 ff.)

#### a) KMO- und Bartlett-Test

Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin.		,731
Bartlett-Test auf Sphärizität	Ungefähres Chi-Quadrat	506,203
	df	78
	Signifikanz nach Bartlett	,000

Der Kaiser-Meyer-Olkin-Wert (KMO-Wert) ist eine Maßzahl für die Eignung der Variablenauswahl für eine Faktorenanalyse:

Nach Kaiser zitiert in Brosius (1989, S. 146) gilt:

KMO- bzw. MSA-Wert	Beurteilung	Anzahl Items (vgl. b)
0,9 – 1	fabelhaft (marvelous)	
0,8 - < 0,9	recht gut (meritorious)	1
0,7 - < 0,8	mittelpfänglich (middling)	8
0,6 - < 0,7	mäßig (mediocre)	3
0,5 - < 0,6	schlecht (miserable)	1
< 0,5	inakzeptabel (inacceptable)	

Damit ist ein KMO-Wert von 0,73 als gut anzusehen. Der Bartlett-Test weist darauf hin, dass in der Schülerpopulation, aus der die Stichprobe ist, die der Faktorenanalyse zugrunde liegenden Korrelationen nicht zufällig sind.

**b) MSA-Werte**

Überprüfung der einzelnen Variablen über den MSA-Wert (measure of sampling adequacy), dessen Berechnung auf der Berechnung partieller Korrelationskoeffizienten beruht, d.h. auf der Korrelation der nicht durch einen Faktor erklärten Anteile zweier Variablen. Die Beurteilung der MSA-Werte entspricht der des KMO-Wertes (vgl. oben).

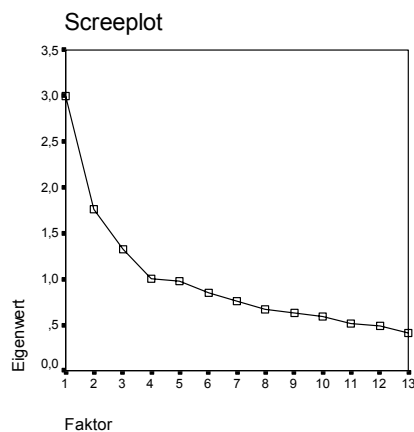
	NT Item 12 rec	NT Item 9 rec	Bewertung Veranstaltung NT rec	NT Item 44 rec	Bewertung Erklärungen NT rec	NT Item 17 rec	NT Item 15 rec	NT Item 19 rec
MSA-Wert	,723	,770	,769	,730	,705	,848	,633	,605

	NT Item 13 inv rec	NT Item 14 inv rec	NT Item 16 inv rec	NT Item 18 inv rec	NT Item 10 inv rec
MSA-Wert	,750	,670	,732	,783	,576

Damit ist die Stichprobeneignung der Variablen insgesamt als befriedigend zu beurteilen.

**c) Screeplot**

Ein Scree-Plot zeigt als Eigenwert-Diagramm, ob die Eigenwerte auf Zufallskorrelationen beruhen, dann ist das Ergebnis eine Gerade. Liegen keine Zufallsverteilungen vor, ist ein Knick vorhanden, oberhalb dessen die sinnvollen Faktoren sind (Diehl & Kohr 1999, S. 362). Damit sind drei Faktoren extrahierbar.



**d) Reproduzierte Korrelationen**

Nach Diehl & Kohr 1999, S. 355 ist es sinnvoll, die Brauchbarkeit einer faktoranalytischen Lösung über die reproduzierte Korrelationsmatrix zu beurteilen:

		NT Item 9 rec	Bewertung Veranstaltung NT rec	NT Item 44 rec	Bewertung Erklärungen NT rec	NT Item 17 rec
Reproduzierte Korrelation	NT Item 12 rec	,531	,511	,331	,361	,333
	NT Item 9 rec		,508	,352	,366	,342
	Bewertung Veranstaltung NT rec			,319	,345	,342
	NT Item 44 rec				,306	,137
	Bewertung Erklärungen NT					,199



Alle Item-Scores sind nicht normalverteilt.

### 3.1 Reliabilitätsabschätzung der Gesamtskala

Die Reliabilitätsanalyse mit Hilfe der Software SPSS 11.0 fordert aufgrund der Berechnung über die Produkt-Moment-Korrelation bivariat normalverteilte Variablen. Obwohl keine Normalverteilung gegeben ist, ist zu einer ersten Übersicht und zur Beurteilung der einzelnen Items im Hinblick auf die korrigierten Trennschärfen eine derartige Auswertung aus ökonomischen Gründen sinnvoll. Alle Werte werden im Anschluss daran nach Zöfel (2002, S. 239) noch exakt berechnet.

Nachtest: alle 13 Items

R E L I A B I L I T Y   A N A L Y S I S   -   S C A L E   ( A L P H A )

1.	H65B	Bewertung Veranstaltung NT rec
2.	H66B	Bewertung Erklärungen NT rec
3.	H69B	NT Item 9 rec
4.	H70B	NT Item 10 inv rec
5.	H72B	NT Item 12 rec
6.	H73B	NT Item 13 inv rec
7.	H74B	NT Item 14 inv rec
8.	H75B	NT Item 15 rec
9.	H76B	NT Item 16 inv rec
10.	H77B	NT Item 17 rec
11.	H78B	NT Item 18 inv rec
12.	H79B	NT Item 19 rec
13.	H107B	NT Item 44 rec

N of Cases =            243,0

Item-total Statistics

	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item- Total Correlation	Squared Multiple Correlation	Alpha if Item Deleted
H65B	46,9506	11,7579	,3029	,3094	,5277
H66B	46,8724	12,0374	,2786	,1873	,5350
H69B	47,1440	11,1899	,3556	,3318	,5117
H70B	47,4609	11,6379	,1565	,0709	,5496
H72B	47,3374	11,2080	,3061	,3435	,5188
H73B	49,0247	12,6275	-,0416	,2361	,5886
H74B	47,7449	11,5958	,2042	,1531	,5391
H75B	48,6502	11,9970	,0269	,3092	,5869
H76B	47,4362	10,5114	,3462	,2832	,5039
H77B	47,8642	11,6054	,1770	,2191	,5448
H78B	47,6955	10,8325	,3139	,2804	,5136
H79B	48,6584	10,8539	,1890	,2047	,5481
H107B	47,7037	10,1350	,4074	,2089	,4863

Reliability Coefficients    13 items

Alpha =            ,5561

Die Analyse zeigt, dass zwei der drei Items des Faktors Vorwissenbezug (Item 13 (Variable H73B) und Item 15 (H75B)) nicht genügend trennscharf im Hinblick auf die Gesamtskala erfasst worden sind (korrigierte Trennschärfe < 0,1, vgl. Zöfel 2002, S. 236 f.).

Auf diese Items wird daher verzichtet und eine erneute Reliabilitätsanalyse durchgeführt.

R E L I A B I L I T Y   A N A L Y S I S   -   S C A L E   ( A L P H A )

N of Cases =            251,0

Item-total Statistics

	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item- Total Correlation	Squared Multiple Correlation	Alpha if Item Deleted
H65B	41,1434	11,0273	,4127	,3220	,6098
H66B	41,0598	11,5524	,3068	,1924	,6263
H69B	41,3347	10,4956	,4447	,3227	,5974

H70B	41,6534	11,2994	,1379	,0620	,6519
H72B	41,5179	10,4027	,4192	,3105	,5992
H74B	41,9283	10,8748	,2808	,1585	,6238
H76B	41,6135	9,7661	,4207	,2749	,5929
H77B	42,0478	10,6137	,3166	,1903	,6169
H78B	41,8645	10,0856	,3915	,2463	,6007
H79B	42,8566	11,4113	,0267	,0687	,6934
H107B	41,9044	9,9028	,3660	,1605	,6057

Reliability Coefficients 11 items

Alpha = ,6431

Die Analyse zeigt, dass auch das dritte Item des Faktors Vorwissenbezug (Item 19 (Variable H79B)) nicht genügend trennscharf im Hinblick auf die Gesamtskala erfasst worden sind (korrigierte Trennschärfe < 0,1).

Damit zeigt sich dass der Faktor Vorwissenbezug mit dem Subtest Akzeptanz in der vorliegenden Form nicht genügend trennscharf zu bestimmen ist.

**3.2 Exakte Bestimmung der korrigierten Trennschärfen zum Faktor Vorwissenbezug**

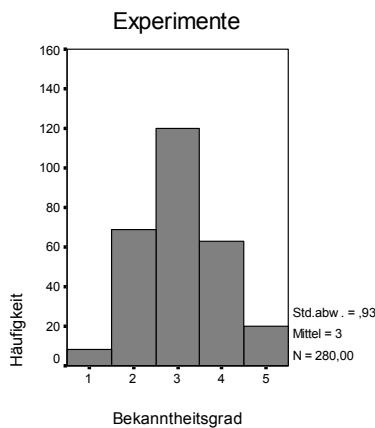
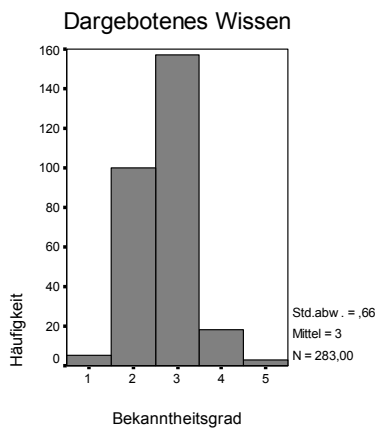
Zur Absicherung werden die exakten korrigierten Trennschärfe nach Zöfel (2002, S. 239) berechnet (aufgrund der fehlenden Normalverteilung als Spearman-Rho-Koeffizient (Zöfel 2002, S. 124)).

Korrigierte Trennschärfekoeffizienten:

Korrelationen

		Item 13	Item 15	Item 19
Spearman-Rho	Korrelationskoeffizient	-,084	,024	,015
	Sig. (2-seitig)	,180	,705	,815
	N	256	249	254

Die Betrachtung der Antworttendenzen (li. Item 13, re. Item 19) gibt einen Hinweis auf eine mögliche Ja- oder Nein-Sage-Tendenz als Grund für die fehlende Trennschärfe:



Antworttendenzen zum Bekanntheitsgrad des dargebotenen Wissens bzw. der vorgeführten Experimente

Es liegt eindeutig keine Ja- oder Nein-sage-Tendenz, sondern eine Tendenz zur Mitte vor.

**4. Reliabilitätsabschätzung der Skala mit zwei Faktoren**

Eine erneute Reliabilitätsanalyse wird mit der Skala durchgeführt, die nur noch die Items der beiden anderen Faktoren betrifft.

RELIABILITY ANALYSIS - SCALE (ALPHA)

N of Cases = 253,0

Item-total Statistics

	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Total Correlation	Squared Multiple Correlation	Alpha if Item Deleted
H65B	38,0988	9,9624	,4418	,3204	,6609
H66B	38,0119	10,5514	,3064	,1858	,6797
H69B	38,2885	9,5553	,4384	,3047	,6554
H70B	38,6008	10,3916	,1149	,0569	,7131

H72B	38,4783	9,4251	,4201	,3084	,6567
H74B	38,8775	9,8540	,2897	,1607	,6793
H76B	38,5731	8,6901	,4437	,2823	,6496
H77B	39,0000	9,4127	,3772	,1631	,6638
H78B	38,8182	8,8954	,4487	,2449	,6489
H107B	38,8656	9,0374	,3468	,1550	,6722
Reliability Coefficients	10 items				
Alpha =	,6917				

Die Analyse zeigt, dass auch das Item 10 des Faktors instrumentelles Handeln (Variable H70B) nicht genügend trennscharf im Hinblick auf die Gesamtskala erfasst worden sind (korrigierte Trennschärfe < 0,2) und dass bei Entfernung des Items die Reliabilität der Skala noch ansteigt.

Zur Absicherung wird die exakte korrigierte Trennschärfe nach Zöfel (2002, S. 239) berechnet (aufgrund der fehlenden Normalverteilung als Spearman-Rho-Koeffizient (Zöfel 2002, S. 124)).

Korrigierter Trennschärfekoeffizient:

Korrelationen

		Item 10
Spearman-Rho	Korrelationskoeffizient	,114
	Sig. (2-seitig)	,071
	N	253

Der Koeffizient ist nicht signifikant.

Daher wird auf dieses Item verzichtet. Mit den verbleibenden neun Items wird die endgültige Faktorenanalyse durchgeführt (vgl. Anh. 43) sowie die Reliabilitäts- und Trennschärfenanalyse vorgenommen.

#### Anhang 42: Kategorisierung der Items mit Reihenantworten

##### 1. Zweistufige Kategorisierung des Items „Was hat Ihnen bei der Veranstaltung heute/damals am besten gefallen?“ (Die Ziffern zeigen die Codierung der Fragebögen an)

Kategorie	Erläuterung	Beispiele	Übergeordnete Kategorie
Keine Angabe	-	-	-
Spezielle Eigenschaften Lerninhalte	Die Lerninhalte werden mit einzelnen Eigenschaften charakterisiert.	Interessantes Thema (190219851215); Verbindung Chemie Biologie (710198538)	Fachlicher Bezug
Alle Lerninhalte	Antwort umfassend auf das gesamte Thema bezogen.	Thema (28021986914)	Fachlicher Bezug
Einzelne Lerninhalte	Ein einzelner Lerninhalt wird angesprochen.	Information über Gentherapie (10919862112); Erbkrankheiten (5021986131)	Fachlicher Bezug
Exemplarische Beispiele	Ein exemplarisches Beispiel aus dem Unterricht wird genannt.	Das grün leuchtende Kaninchen (4091984114); Bilder von grünleuchtenden Tieren (2009198585)	Fachlicher Bezug
Ethische Komponente	Es wird auf die ethische Diskussion Bezug genommen.	Abwägen der ethischen Aspekte (1101985199); Ausführungen zu Naturwissenschaft – Ethik (4061986131)	Ethischer Bezug
Spezielle Beurteilung Erklärungen	Zu den Erklärungen des Versuchsleiters werden positive Eigenschaften genannt.	Die verständlichen Erklärungen (4091984114); Die genaue Erklärung (170219862120)	Lehrerbezug
Alle Erklärungen	Antwort umfassend auf die Erklärungen bezogen.	Alles gut erklärt (26121984721)	Lehrerbezug
Projektleiter	Eigenschaften des Versuchsleiters werden genannt.	Der kompetente und freundliche Projektleiter (21021986165)	Lehrerbezug
Spezielle Medien	Einzelne Medien werden direkt angesprochen.	Präsentation der Moleküle (1101198685); Powerpoint-Präsentation (6081986914)	Methodenbezug
Allgemein Medien	Antwort umfassend auf die gesamte Darstellung bezogen.	Die anschauliche Darstellung (19011986199)	Methodenbezug
Durchführung Experimente	Allgemein bzw. ohne weitere Differenzierung wird auf das Experimentieren Bezug genommen.	Versuche allgemein (17021986131); Experimente (3021986131)	Experimentalbezug
Zweck der Experimente	Eine Zielvorstellung für das Experimentieren wird genannt.	Theorie mal praktisch durchzuführen (10051985165); Praktische Anwendung des Gelernten (10918951315)	Experimentalbezug

Art der Durchführung von Experimenten	Teilaspekte der Versuchsdurchführung werden hervorgehoben.	Selbständiges Arbeiten (140819852120); Relativ kleine Gruppen (9031986415)	Experimentalbezug
Materialien zu Experimenten	Einzelne oder alle Geräte, Materialien und/oder Chemikalien werden genannt.	Supermoderne Gerätschaften (6071985312); Pipette (26081984191); Gele (19021986131); Versuchsanleitungen (807198575);	Experimentalbezug
Beispiele von Experimenten	Einzelne Experimente werden genannt.	Gelelektrophorese (17021986131); Das Isolieren der Plasmide (2102198671)	Experimentalbezug
Einzelne experimentelle Schritte	Experimentelle Teilschritte aus einem Versuch werden hervorgehoben.	Pipettieren (30081986111); Zentrifugieren (31219851315)	Experimentalbezug
Instrumentelle Erfolgseinschätzung	Erfolge in Bezug auf die Handhabung und oder den Erfolg beim Experimentieren werden hervorgehoben.	Sehen der eigenen Ergebnisse und auswerten (50119862118); Geräte kennen zulernen (51119851315); Zu eigenen Ergebnissen gekommen (30081985914)	Schülerbezug
Kognitive Erfolgseinschätzung	Der eigene Lernerfolg wird positiv eingeschätzt.	Dass Zusammenhang klarer wurde (100719861815); Neue Erkenntnisse gewonnen (31219841921)	Schülerbezug
Gesamturteil Veranstaltung	Es wird ohne Differenzierung auf die gesamte Veranstaltung Bezug genommen	Alles (29081986131); Gute Atmosphäre (2112198438)	Gesamtbezug
Lernort	Es wird Bezug auf den Lernort Labor genommen.	Laborkittel (240119862112); Ausstattung (12021986225)	Lernortbezug
Universitäres Umfeld	Die Universität bzw. deren Teilbereiche werden hervorgehoben.	Einblick in die Uni BT (15111985721); Mensa (14061986111)	Lernortbezug

## 2. Zweistufige Kategorisierungen des Items „Was hat Ihnen bei der Veranstaltung heute/damals am wenigsten gefallen?“ (Die Ziffern zeigen jeweils die Codierung der Fragebögen an)

Kategorie	Erläuterung	Beispiele	Übergeordnete Kategorie
Keine Angabe			
Spezielle Eigenschaften Lerninhalte	Die Lerninhalte werden mit einzelnen negativen Eigenschaften charakterisiert.	Zu viel auf einmal, kombiniert mit vielen Fachbegriffen (7091985131); Teilweise zu kompliziert (21111985415)	Fachlicher Bezug
Alle Lerninhalte	Antwort umfassend auf das gesamte Thema bezogen.	Sehr viel Stoff (1007198571); Viel geballtes Wissen (23051986415)	Fachlicher Bezug
Einzelne Lerninhalte	Ein einzelner Lerninhalt wird angesprochen.	Erklärung der Vorgänge bei der Genübertragung (2009198585); „transgenic art“ (26121984721);	Fachlicher Bezug
Exemplarische Beispiele	Ein exemplarisches Beispiel aus dem Unterricht wird genannt.	Grün leuchtendes Kaninchen (111119131)	Fachlicher Bezug
Ethische Komponente	Es wird auf die ethische Diskussion Bezug genommen.	Zu wenig Beispiele zur Ethik (12061986914)	Ethischer Bezug
Spezielle Beurteilung Erklärungen	Zu den Erklärungen des Versuchsleiters werden negative Eigenschaften genannt.	Die Erklärung der Isolierung der Chromosomen fand ich zu schnell (170919842118); Erklärungen etwas zu ausschweifend (27111984169)	Lehrerbezug
Alle Erklärungen	Antwort umfassend auf die Erklärungen bezogen.	Erklärungen (31031985914)	Lehrerbezug
Projektleiter	Negative Eigenschaften des Versuchsleiters werden genannt.	Rasches Vorgehen (1211198525); Vorträge teilweise etwas kompliziert (5121985914)	Lehrerbezug
Spezielle Medien	Einzelne Medien werden direkt angesprochen.	Manchmal war die Folie zu schnell weg (2509198325); Manche Graphiken zu kompliziert/unklar (18071986914)	Methodenbezug
Allgemein Medien	Antwort umfassend auf die gesamte Darstellung bezogen.	Nur eine Art der Darstellung (14011985131)	Methodenbezug
Durchführung Experimente	Allgemein bzw. ohne weitere Differenzierung wird auf das Fehlen des Experimentierens Bezug genommen.	Nur Theorie (28031986918); Manchmal etwas zu wenige Versuche (51119851315);	Experimentalbezug
Art der Durchführung von	Teilaspekte der Versuchsdurchführung werden	Zu große Gruppen (5051985512); Zu viel Gruppenarbeit (2104198685);	Experimentalbezug



Experimenten	hervorgehoben.		
Eigenschaften Experimente	Eigenschaften der Experimente werden negativ bewertet.	Wartezeiten zwischen den Versuchen (17091985914); Experimente waren zu groß (9091985129);	Experimentalbezug
Materialien zu Experimenten	Einzelne oder alle Geräte, Materialien und/oder Chemikalien werden genannt.	Handschuhe (140819852120)	Experimentalbezug
Beispiele von Experimenten	Einzelne Experimente werden genannt.	Die Gelversuche (15021985131)	Experimentalbezug
Einzelne experimentelle Schritte	Experimentelle Teilschritte aus einem Versuch werden hervorgehoben.	Zentrifugieren (6071985312); Mundschleimhaut abkratzen (811198538)	Experimentalbezug
Instrumentelle Erfolgseinschätzung	Misserfolge in Bezug auf die Handhabung und oder den Erfolg beim Experimentieren werden hervorgehoben.	Dass man nicht wirklich viel von dem sieht, was man macht (13091985165); Ergebnisse „falsch“ (10419862120)	Schülerbezug
Kognitive Erfolgseinschätzung	Der eigene Lernerfolg wird negativ eingeschätzt.	Schwer, sich alles zu merken (1101198685); Teilweise zu wenig vorhandenes Wissen → einige Unklarheiten (27011985165)	Schülerbezug
Gesamturteil Veranstaltung	Es wird ohne Differenzierung mit negativen Urteilen auf die gesamte Veranstaltung Bezug genommen	Hat sehr lange gedauert (27071984522); Zu kurz (280619861925)	Gesamtbezug
Lernort	Es wird Bezug auf den Lernort Labor genommen.	Keine gute Sicht weil zu weit weg sitzend (7031986912); Anfahrt (12021986225)	Lernortbezug
Universitäres Umfeld	Die Universität bzw. deren Teilbereiche werden hervorgehoben.	Negative Atmosphäre aufgrund des trostlosen Gebäudes (9031986415); Mensaessen (1007198629)	Lernortbezug
Projektleiter	Negative Eigenschaften des Versuchsleiters werden genannt.	Rasches Vorgehen (1211198525); Vorträge teilweise etwas kompliziert (5121985914)	Lernortbezug
Evaluation	Es wird auf die Teilnahme an der Evaluation Bezug genommen.	Nachtest (807198575); Fragebögen ausfüllen (9071986218)	Testbezug

### Anhang 43: Endgültige Faktorenanalyse des Subtests Akzeptanz

Vorbemerkung: Berücksichtigt werden nur die Probanden, die alle Items der Skala beantwortet haben. Weitergehende Informationen zu den einzelnen Beurteilungen der Faktorenanalysen finden sich in Anh. 41.

#### 1. Faktorenanalyse des Nachtests I

Die Faktorenanalyse zeigt die zweifaktorielle Struktur der verbliebenen neun Items auf (N=257).

Ladung auf Faktor/Komponente		Kommunalität	Item
Affektive Bewertung	Bewertung des instrumentellen Handelns		
0,74		0,55	Weiterer Tag
0,74		0,55	Spaß Veranstaltung
0,68		0,49	Bewertung Veranstaltung
0,50		0,27	Bewertung Erklärungen
0,50		0,28	Mehr als im üblichen Unterricht gelernt
0,44		0,28	Erkennen eines Bezugs zum bisherigen Wissen
	0,76	0,59	Keine Schwierigkeit den Unterrichtsmitteln zu folgen
	0,74	0,60	Genügend Zeit für die Unterrichtsschritte/Experimente
	0,64	0,50	Keine Schwierigkeit dem Unterricht zu folgen
2,9	1,2		Eigenwerte der rotierten Faktoren (vgl. 1.2 e)
26,6	19,0	Summe: 45,6	Durch Faktoren aufgeklärten Varianzanteil (vgl. 1.2 e)

#### 1.1 Stabilität der Faktorenstruktur

Faktorenstabilität FS = 0,92 (mit N = 257 und  $X_2 = 0,44$ ). Dieser Wert liegt über dem von Bortz (1999, S. 507) angegebenen Grenzwert ( $\geq 0,9$  hinreichend stabil). Die Kommunalität, d.h. der spezifische

Charakter, ist bei den drei Items „Bewertung Erklärungen“, „Mehr als im üblichen Unterricht gelernt“ und „Erkennen eines Bezugs zum bisherigen Wissen“ relativ hoch.

**1.2 Gütekriterien nach Brosius (1989, S. 141 ff.)**

**a) KMO- und Bartlett-Test**

Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin.		,774
Bartlett-Test auf Sphärizität	Ungefähres Chi-Quadrat	362,825
	df	36
	Signifikanz nach Bartlett	,000

Nach Kaiser zitiert in Brosius (1989, S. 146) gilt folgende Beurteilung:

KMO- bzw. MSA-Wert	Beurteilung	Anzahl Items (vgl. 1.2 b)
0,8 - < 0,9	recht gut (meritorious)	2
0,7 - < 0,8	mittelprächtigt (middling)	7

Damit ist ein KMO-Wert von 0,77 als gut anzusehen. Der Bartlett-Test weist darauf hin, dass in der Schülerpopulation, aus der die Stichprobe ist, die der Faktorenanalyse zugrunde liegenden Korrelationen nicht zufällig sind.

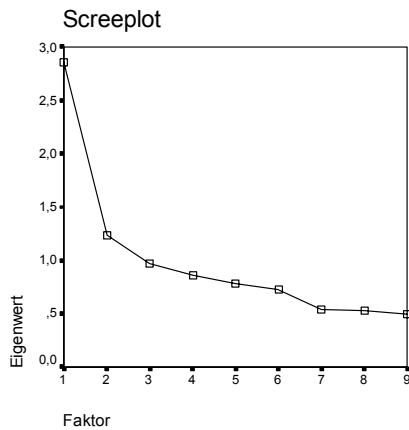
**b) MSA-Werte**

	Bewertung Veranstaltung NT rec	Bewertung Erklärungen NT rec	NT Item 9 rec	NT Item 12 rec	NT Item 14 inv rec	NT Item 16 inv rec	NT Item 17 rec	NT Item 18 inv rec	NT Item 44 rec
MSA-Wert	,769	,733	,774	,768	,703	,747	,844	,791	,845

Damit ist die Stichprobeneignung der Variablen insgesamt als gut zu beurteilen.

**c) Screeplot**

Der Screeplot zeigt zwei extrahierbare Faktoren.



**d) Reproduzierte Korrelationen**

Reproduzierte Korrelation	Bewertung Erklärungen NT rec	NT Item 9 rec	NT Item 12 rec	NT Item 44 rec	NT Item 17 rec	NT Item 14 inv rec	NT Item 16 inv rec	NT Item 18 inv rec
Bewertung Veranstaltung NT rec	,362	,510	,506	,370	,346	,080	,276	,298
Bewertung Erklärungen NT rec		,375	,372	,274	,258	,068	,211	,227
NT Item 9 rec			,547	,377	,336	-,019	,196	,234
NT Item 12 rec				,373	,330	-,031	,184	,223
NT Item 44 rec					,271	,105	,247	,258
NT Item 17 rec						,192	,314	,311
NT Item 14 inv rec							,552	,474
NT Item 16 inv rec								,543

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

Die reproduzierten Korrelationen verdeutlichen klar die Faktorenstruktur.

Damit ist die gewonnene Faktorenstruktur als Grundlage für die folgende Reliabilitäts- und Trennschärfeabschätzung geeignet.

**e) Erklärte Gesamtvarianz**

Komponente	Anfängliche Eigenwerte			Summen von quadrierten Faktorladungen für Extraktion			Rotierte Summe der quadrierten Ladungen		
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %
1	2,86	31,78	31,78	2,86	31,78	31,78	2,39	26,55	26,55
2	1,24	13,74	45,52	1,24	13,74	45,52	1,71	18,97	45,52
3	,97	10,77	56,29						
4	,86	9,54	65,82						
5	,78	8,72	74,54						
6	,73	8,08	82,63						
7	,54	6,01	88,64						
8	,53	5,88	94,52						
9	,49	5,48	100,00						

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.  
Die Faktoren erklären 45,5 % der Gesamtvarianz.

**2. Faktorenanalyse des Nachttests II**

Die Faktorenanalyse zeigt erneut die zweifaktorielle Struktur der verbliebenen neun Items auf (N=250).

Ladung auf Faktor/Komponente		Kommunalität	Item
Affektive Bewertung	Bewertung des instrumentellen Handelns		
0,62		0,41	Weiterer Tag
0,61		0,42	Spaß Veranstaltung
0,83		0,71	Bewertung Veranstaltung
0,71		0,50	Bewertung Erklärungen
	0,47	0,25	Mehr als im üblichen Unterricht gelernt
	0,47	0,23	Erkennen eines Bezugs zum bisherigen Wissen
	0,82	0,71	Keine Schwierigkeit den Unterrichtsmitteln zu folgen
	0,74	0,55	Genügend Zeit für die Unterrichtsschritte/Experimente
	0,70	0,50	Keine Schwierigkeit dem Unterricht zu folgen
1,3	3,0		Eigenwerte der rotierten Faktoren (vgl. 2.2. e)
22,7	24,9	Summe: 47,6	Durch Faktoren aufgeklärten Varianzanteil (vgl. 2.2. e)

**2.1 Stabilität der Faktorenstruktur**

Faktorenstabilität FS = 0,92 (mit N = 250 und X<sub>2</sub> = 0,47). Dieser Wert liegt über dem von Bortz (1999, S. 507) angegebenen Grenzwert (≥ 0.9 hinreichend stabil). Die Kommunalität ist bei den beiden Items „Mehr als im üblichen Unterricht gelernt“ und „Erkennen eines Bezugs zum bisherigen Wissen“ erneut relativ hoch.

**2.2 Gütekriterien nach Brosius (1989, S. 141 ff.)**

**a) KMO- und Bartlett-Test**

Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin.		,727
Bartlett-Test auf Sphärizität	Ungefähres Chi-Quadrat	458,845
	df	36
	Signifikanz nach Bartlett	,000

Nach Kaiser zitiert in Brosius (1989, S. 146) gilt:

KMO- bzw. MSA-Wert	Beurteilung	Anzahl Items (vgl. 2.2.b)
0,8 - < 0,9	recht gut (meritorious)	3
0,7 - < 0,8	mittelpfänglich (middling)	3
0,6 - < 0,7	mäßig (mediocre)	3

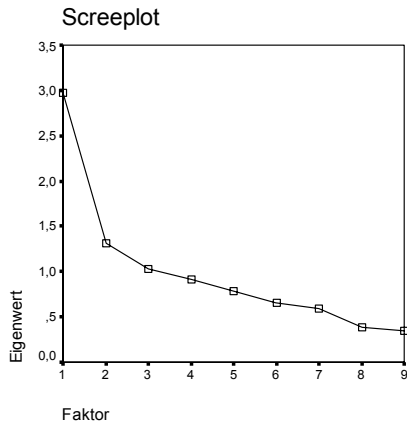
Damit ist ein KMO-Wert von 0,73 als befriedigend anzusehen. Der Bartlett-Test weist darauf hin, dass in der Schülerpopulation, aus der die Stichprobe ist, die der Faktorenanalyse zugrunde liegenden Korrelationen nicht zufällig sind.

**b) MSA-Werte**

	Bewertung Veranstaltung BT rec	Bewertung Erklärungen BT rec	BT Item 15 rec	BT Item 11 rec	BT Item 16 rec	BT Item 48 rec	BT Item 9 inv rec	BT Item 14 inv rec	BT Item 18 inv rec
MSA-Wert	,665	,599	,786	,679	,810	,847	,841	,762	,726

Damit ist die Stichprobeneignung der Variablen insgesamt als befriedigend zu beurteilen.

**c) Screeplot**



Es sind also zwei Faktoren sinnvoll extrahierbar (Diehl & Kohr 1999, S. 362). Der dritte Faktor hat einen Eigenwert von 1,03 (vgl. 2.2. e)), also an der Grenze von 1,0. Er wird nicht berücksichtigt, da das Argument Eigenwert > 1 für die Faktorenfestlegung im Sinne von Diehl & Kohr (1999, S. 362) als pseudorational eingestuft wird.

**d) Reproduzierte Korrelationen**

Reproduzierte Korrelation	Bewertung Erklärungen BT rec	BT Item 15 rec	BT Item 11 rec	BT Item 16 rec	BT Item 48 rec	BT Item 9 inv rec	BT Item 14 inv rec	BT Item 18 inv rec
Bewertung Veranstaltung BT rec	,595	,538	,539	,132	,205	,201	,181	,267
Bewertung Erklärungen BT rec		,444	,444	,083	,145	,128	,108	,176
BT Item 15 rec			,415	,138	,192	,209	,198	,269
BT Item 11 rec				,145	,198	,218	,207	,280
BT Item 16 rec					,234	,337	,353	,402
BT Item 48 rec						,348	,361	,418
BT Item 9 inv rec							,525	,597
BT Item 14 inv rec								,623

Damit ist die gewonnene Faktorenstruktur als eine Grundlage für die folgende Reliabilitäts- und Trennschärfeabschätzung geeignet.

**e) Erklärte Gesamtvarianz**

Erklärte Gesamtvarianz

Komponente	Anfängliche Eigenwerte			Summen von quadrierten Faktorladungen für Extraktion			Rotierte Summe der quadrierten Ladungen		
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %
1	2,97	32,99	32,99	2,97	32,99	32,99	2,24	24,91	24,91
2	1,31	14,61	47,60	1,31	14,61	47,60	2,04	22,69	47,60
3	1,03	11,41	59,01						
4	,91	10,14	69,15						
5	,78	8,66	77,81						
6	,66	7,33	85,14						
7	,59	6,60	91,74						
8	,39	4,34	96,09						
9	,35	3,91	100,00						

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

Es wird 47,6 % der Gesamtvarianz durch die beiden Faktoren erklärt.

**3. Faktorenanalyse der Skala mit sieben Items**

Aufgrund des Faktorenwechsels der beiden Items „Mehr als im üblichen Unterricht gelernt“ und „Erkennen eines Bezugs zum bisherigen Wissen“ wird auf diese beiden Items verzichtet.

Damit ergeben sich folgende Faktorenanalysen:

**a) Faktorenstruktur**

Ladung auf Faktor/ Komponente				Item
e				

Affektive Bewertung		Instrumentelles Handeln		
NT I	NT II	NT	NT II	
0,76	0,60			Weiterer Tag
0,73	0,60			Spaß Veranstaltung
0,73	0,84			Bewertung Veranstaltung
0,52	0,72			Bewertung Erklärungen
		0,76	0,73	Keine Schwierigkeit, den Unterrichtsmitteln zu folgen
		0,76	0,80	Genügend Zeit für die Unterrichtsschritte/Experimente
		0,65	0,73	Keine Schwierigkeit, dem Unterricht zu folgen

Nachtest I: FS = 0,93 (mit N = 257 und minimaler Faktorladung 0,52);

Nachtest II: FS = 0,94 (mit N = 250 und minimaler Faktorladung 0,60)

Beide Werte liegen über dem von Bortz angegebenen Grenzwert ( $\geq 0.9$  hinreichend stabil).

Alle Variablen besitzen mindestens in einem Test eine Faktorladung  $> 0,6$  (Bortz & Döring, S. 201).

**b) Kommunalitäten**

Item	NT I	NT II
Weiterer Tag	0,57	0,41
Spaß Veranstaltung	0,53	0,41
Bewertung Veranstaltung	0,57	0,72
Bewertung Erklärungen	0,30	0,52
Keine Schwierigkeit, den Unterrichtsmitteln zu folgen	0,59	0,55
Genügend Zeit für die Unterrichtsschritte/Experimente	0,63	0,65
Keine Schwierigkeit, dem Unterricht zu folgen	0,51	0,71

Alle Kommunalitäten zeigen an, dass, bezogen auf beide Tests, der spezifische Charakter der Variablen (entspr. höhere Residualvarianz) relativ gering ist.

**c) KMO-, MSA-Werte und Bartlett-Test**

		NT I	NT II
Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin (KMO).		,720	,687
Bartlett-Test auf Sphärizität	Ungefähres Chi-Quadrat	279,450	394,909
	df	21	21
	Signifikanz nach Bartlett	,000	,000

Für die Beurteilung der KMO- und MSA-Werte gilt nach Kaiser zitiert in Brosius (1989, S. 146):

KMO- bzw. MSA-Wert	Beurteilung	Anzahl Items	
		NT I	NT II
0,7 - < 0,8	mittelprächtig (middling)	6	4
0,6 - < 0,7	mäßig (mediocre)	1	2
0,5 - < 0,6	schlecht (miserable)		1

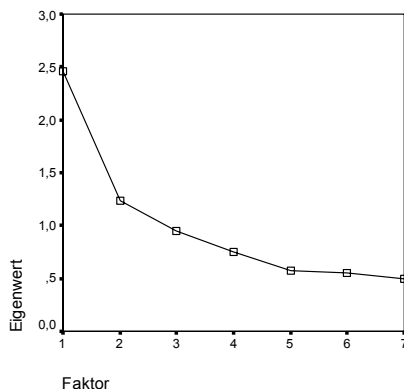
Damit sind beide KMO-Werte als befriedigend anzusehen. Für beide Tests gilt außerdem, dass in der Schülerpopulation, aus der die Stichprobe ist, die der Faktorenanalyse zugrunde liegenden Korrelationen nicht zufällig sind (Bartlett-Test).

MSA-Wert	Bewertung Veranstaltung	Bewertung Erklärungen	Weiterer Tag	Spaß	Unterrichtsmittel	Unterrichtszeit	Unterricht allgemein
NT I	,731	,704	,713	,720	,679	,709	,756
NT II	,645	,583	,773	,656	,790	,721	,698

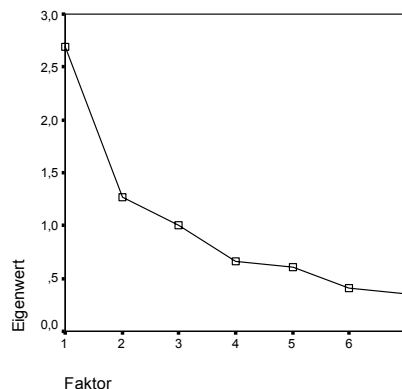
Damit ist die Variableneignung insgesamt als befriedigend anzusehen.

**d) Screeplots**

Screepplot Nachtest



Screepplot Nachtest II



In beiden Tests sind zwei sinnvolle Faktoren extrahierbar.

### e) Reproduzierte Korrelationen

Reproduzierte Korrelation	Bewertung Erklärungen NT rec	NT Item 9 rec	NT Item 12 rec	NT Item 14 inv rec	NT Item 16 inv rec	NT Item 18 inv rec
Bewertung Veranstaltung NT rec	,410	,562	,539	,082	,308	,331
Bewertung Erklärungen NT rec		,404	,388	,067	,230	,245
NT Item 9 rec			,553	-,021	,214	,252
NT Item 12 rec				-,030	,196	,234
NT Item 14 inv rec					,559	,473
NT Item 16 inv rec						,561

Reproduzierte Korrelation	Bewertung Erklärungen BT rec	BT Item 15 rec	BT Item 11 rec	BT Item 9 inv rec	BT Item 14 inv rec	BT Item 18 inv rec
Bewertung Veranstaltung BT rec	,611	,531	,530	,194	,168	,263
Bewertung Erklärungen BT rec		,440	,440	,116	,089	,169
BT Item 15 rec			,408	,237	,227	,298
BT Item 11 rec				,240	,230	,301
BT Item 9 inv rec					,593	,623
BT Item 14 inv rec						,671

In beiden Tests werden die Faktoren erkennbar reproduziert.

### f) Erklärte Gesamtvarianzen

Nachtest I:

Komponente	Anfängliche Eigenwerte			Summen von quadrierten Faktorladungen für Extraktion			Rotierte Summe der quadrierten Ladungen		
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %
1	2,461	35,164	35,164	2,461	35,164	35,164	2,045	29,220	29,220
2	1,231	17,581	52,745	1,231	17,581	52,745	1,647	23,524	52,745
3	,949	13,560	66,305						
4	,748	10,688	76,993						
5	,568	8,118	85,111						
6	,548	7,823	92,934						
7	,495	7,066	100,000						

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

Nachtest II:

Erklärte Gesamtvarianz

Komponente	Anfängliche Eigenwerte			Summen von quadrierten Faktorladungen für Extraktion			Rotierte Summe der quadrierten Ladungen		
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %
1	2,695	38,497	38,497	2,695	38,497	38,497	2,030	28,997	28,997
2	1,268	18,112	56,609	1,268	18,112	56,609	1,933	27,612	56,609
3	1,005	14,353	70,962						
4	,664	9,482	80,444						
5	,602	8,595	89,039						
6	,412	5,892	94,931						
7	,355	5,069	100,000						

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

Damit werden in beiden Tests über 50 % der Varianz durch die beiden Faktoren erklärt und die gewonnene Faktorenstruktur ist als Grundlage für die folgende Reliabilitäts- und Trennschärfeabschätzung geeignet.

**4. Trennschärfe und Homogenitätsbestimmung der Skala mit sieben Items**

**a) Korrigierte Trennschärfe und Fremdtrennschärfe**

Die korrigierten Trennschärfe werden nach Zöfel (2002, S. 239) berechnet (aufgrund der fehlenden Normalverteilung als Spearman-Rho-Koeffizient (Zöfel 2002, S. 124)).

Korrigierte Trennschärfekoeffizienten und Fremdtrennschärfe:

Korrelationen Spearman-Rho-Koeffizient

Nachtest I	Bewertung Veranstaltung	Bewertung Erklärungen	Weiterer Tag	Spaß	Unterrichtsmittel	Unterrichtszeit	Unterricht allgemein
Korrigierter Trennschärfekoeffizient	,447	,270	,389	,393	,256	,466	,441
Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
Fremdtrennschärfe	,277	,178	,204	,226	,091	,295	,308
Sig. (2-seitig)	,000	,004	,001	,000	,144	,000	,000
Nachtest II							
Korrigierter Trennschärfekoeffizient	,497	,358	,412	,468	,434	,475	,549
Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
Fremdtrennschärfe	,291	,253	,289	,313	,284	,321	,335
Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000

Alle korrigierten Trennschärfekoeffizienten sind signifikant. Zwölf von 14 Items liegen über der Grenze von 0,3 (Weise, 1975, S. 219), die beiden restlichen Items nur knapp darunter. Alle Fremdtrennschärfe sind niedriger als die korrigierten Trennschärfekoeffizienten.

**b) Homogenität**

Affektiver Faktor

Nachtest I: Korrelationen

	Spearman-Rho	Bewertung Erklärungen	Weiterer Tag	Spaß
Bewertung Veranstaltung	Korrelationskoeffizient	,396	,384	,349
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000
Bewertung Erklärungen	Korrelationskoeffizient		,183	,177
	Sig. (2-seitig)		,003	,004
Weiterer Tag	Korrelationskoeffizient			,498
	Sig. (2-seitig)			,000

Damit ergibt sich eine als Homogenität (durchschnittliche Item-Interkorrelation, vgl. Bortz & Döring 1995, S. 200) von 0,33.

Nachtest II: Korrelationen

Spearman-Rho		Bewertung Erklärungen	Weiterer Tag	Spaß
Bewertung Veranstaltung	Korrelationskoeffizient	,493	,323	,497
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000
Bewertung Erklärungen	Korrelationskoeffizient		,207	,202
	Sig. (2-seitig)		,001	,001
Weiterer Tag	Korrelationskoeffizient			,477
	Sig. (2-seitig)			,000

Damit ergibt sich eine Homogenität von 0,37.

Bewertung des instrumentellen Handelns

Nachtest I: Korrelationen

	Spearman-Rho	Unterrichtszeit	Unterricht allgemein
Unterrichtsmittel	Korrelationskoeffizient	,340	,248
	Sig. (2-seitig)	,000	,000
Unterrichtszeit	Korrelationskoeffizient		,412

	Sig. (2-seitig)		,000
--	-----------------	--	------

Damit ergibt sich eine Homogenität von 0,33.

Nachtest II: Korrelationen

	Spearman-Rho	Unterrichtszeit	Unterricht allgemein
Unterrichtsmittel	Korrelationskoeffizient	,338	,491
	Sig. (2-seitig)	,000	,000
Unterrichtszeit	Korrelationskoeffizient		,536
	Sig. (2-seitig)		,000

Damit ergibt sich eine Homogenität von 0,46.

### 5. Reliabilitätsbestimmung der Skala mit sieben Items

Nachtest I

Skala Deskriptive Statistik

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz	Cronbachs Alpha (Zöfel 2002, S. 239)
Bewertung Veranstaltung	3	5	4,75	,453	,205	
Bewertung Erklärungen	4	5	4,83	,377	,142	
Weiterer Tag	3	5	4,56	,571	,326	
Spaß	2	5	4,37	,630	,397	
Unterrichtsmittel	2	5	3,97	,643	,413	
Unterrichtszeit	2	5	4,26	,805	,648	
Unterricht allgemein	2	5	4,02	,739	,546	
Summenscore affektiver Faktor	14	20	18,50	1,447	2,095	0,65
Summenscore instrumenteller Faktor	7	15	12,26	1,633	2,668	0,60
Summenscore Akzeptanz (7 Items)	22	35	30,75	2,512	6,311	0,67

Berechnung von  $\alpha = (m/m-1) * (1 - (\text{Summe Itemstreuungen}^2 / \text{Gesamtpunktwertstreuung}^2))$

Nachtest II Deskriptive Statistik

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz	Cronbachs Alpha (Zöfel 2002, S. 239)
Bewertung Veranstaltung	1	5	4,68	,532	,283	
Bewertung Erklärungen	1	5	4,68	,545	,297	
Weiterer Tag	3	5	4,47	,683	,467	
Spaß	1	5	4,32	,745	,554	
Unterrichtsmittel	2	5	3,96	,673	,453	
Unterrichtszeit	1	5	3,94	,885	,783	
Unterricht allgemein	2	5	3,83	,733	,537	
Summenscore affektiver Faktor	11	20	18,15	1,778	3,163	0,66
Summenscore instrumenteller Faktor	7	15	11,73	1,834	3,363	0,71
Summenscore Akzeptanz (7 Items)	22	35	29,88	2,980	8,880	0,72

### Anhang 44: Befragung der Lehrkräfte zur Charakterisierung des Vorwissensbezugs der Items im Subtest Wissenserwerb

Die Lehrkräfte der teilnehmenden Kurse wurden gebeten, gemäß dem folgenden Beispiel alle Items des Subtests Wissenserwerb zu charakterisieren.

Bitte charakterisieren Sie die folgenden Wissens-Fragen, indem Sie das entsprechende Kästchen ankreuzen:



<b>Vorwissen:</b>	<b>Frage bezieht sich nur auf Vorwissen;</b>
<b>Vor- + Projektwissen:</b>	<b>Frage verbindet Vorwissen mit Wissensinhalten aus der heutigen Projektveranstaltung</b>
<b>Projektwissen:</b>	<b>Frage bezieht sich ausschließlich auf Wissensinhalte aus der heutigen Projektveranstaltung</b>
53.	Das grün fluoreszierende Protein kann für verschiedenste Anwendungen in der Molekularbiologie eingesetzt werden, weil
c)	es durch sein Leuchten im Infrarotlicht leicht sichtbar ist.
d)	es sich leicht an andere Proteine koppeln lässt.
a)	es sich in einem Organismus von Zelle zu Zelle ausbreiten kann.
b)	sein Farbgeber auch allein wirksam ist.
	Vorwissen <input type="checkbox"/> Vor-+ Projektwissen <input type="checkbox"/> Projektwissen <input type="checkbox"/>

Elf Lehrkräfte füllten den Fragebogen aus. Die Einschätzungen lassen sich wie folgt zusammenfassen (mit der eigenen Beurteilung übereinstimmende Einschätzungen sind fett gedruckt):

Item	Einschätzungen der Lehrkräfte		
	Vorwissen	Verknüpfung von Vor- und Projektwissen	Projektwissen
Art der Identität bei pro- und eukaryotischer Transkription	<b>6</b>	5	-
Notwendige Upstream-Sequenzen zur Translation eines eukaryotischen Gens in Bakterien	2	<b>6</b>	3
Wirkung des „Schaltermoleküls“ bei einer positiven Operonkontrolle	6	<b>5</b>	-
Abfolge der Teilsequenzen in einem Expressionsplasmid	-	9	<b>2</b>
Begründung der GFP-Anwendung in der Molekularbiologie	-	3	<b>8</b>
Art der aufgenommenen DNA bei der Transformation	<b>6</b>	4	1
Abfolge der Teilschritte bei einer Transformation	-	3	<b>8</b>
Bedeutung des Transformationsschrittes in der Transformationslösung	-	4	<b>7</b>
Voraussage des Versuchsergebnisses bei einer Transformation mit gegebenen Resistenzgenen und Medien	5	<b>5</b>	<b>1</b>
Bedeutung der Vollmedium-Kontrolle bei der Transformation	<b>1</b>	<b>6</b>	4
Art der DNA-Bindung an die Chromatographie-Säule	1	2	<b>8</b>
Bestandteile einer Elektrophorese-Apparatur	2	9	-
Stoffliche Ursache für die Auftrennung der DNA-Moleküle in der Elektrophorese	4	<b>3</b>	4
Art der durch Restriktionsenzyme gespaltenen Nukleinsäure	<b>8</b>	3	-
Zuordnung des richtigen Restriktionsenzym zu einer gegebenen DNA-Sequenz anhand der Schnittstellen-Sequenz	6	<b>5</b>	-
Voraussage der Fragmentzahl bei der Spaltung eines Plasmids mit zwei Restriktionsenzymen bei gegebener Schnittstellen-Anzahl	3	<b>8</b>	-

Die Übereinstimmung mit der eigenen Einschätzung (Signierobjektivität) wird über den paarweise bestimmten Koeffizienten Cohens Kappa (Cohen 1968, S. 214) überprüft.

Drei Lehrer wählen eine Kategorie gar nicht, die Koeffizienten im Vergleich mit den übrigen acht Lehrkräften sind wie folgt:

Lehrer	1	2	3	4	5	6	7	8
Kappa	0,168	0,432	0,356	0,158	0,038	0,619	0,634	0,251
p =	0,320	0,014	0,034	0,363	0,738	0,000	0,000	0,148

Nur vier Koeffizienten sind signifikant und alle Werte liegen z.T. deutlich unter den Grenzwerten von 0,75 für eine „(sehr) hohe Urteilerkonkordanz“ (Diehl & Staufenberg 2002, S. 161) bzw. von 0,70 für eine „gute Übereinstimmung“ (Bortz & Döring 1995, S. 254). Damit kann die Signierobjektivität als nicht ausreichend beurteilt werden. Die Zuordnung der Kollegen ist eindeutig auf den eigenen Unterricht bezogen und verdeutlicht somit deren Unterschiedlichkeit.

#### Anhang 45: Verkürzte Formulierungen der Items aus dem Subtest Wissenserwerb

Für jedes Item wird zuerst die verkürzte und dann die vollständige Formulierung vorgestellt (entsprechend der Reihenfolge im Vortest)

Nr.	Item
1	Begründung der GFP-Anwendung in der Molekularbiologie
	Das grün fluoreszierende Protein kann für verschiedenste Anwendungen in der Molekularbiologie

	eingesetzt werden, weil			
a)	es durch sein Leuchten im Infrarotlicht leicht sichtbar ist.		<input type="checkbox"/>	
b)	es sich leicht an andere Proteine koppeln lässt.		<input checked="" type="checkbox"/>	
c)	es sich in einem Organismus von Zelle zu Zelle ausbreiten kann.		<input type="checkbox"/>	
d)	sein Farbgeber auch allein wirksam ist.		<input type="checkbox"/>	
2	Abfolge der Teilschritte bei einer Transformation			
	Die richtige Reihenfolge der Teilschritte bei einer Transformation ist:			
a)	Hitzeschock → Zellen in Transformationslösung → Zellen in Nährmedium.		<input type="checkbox"/>	
b)	Zellen in Transformationslösung → Zellen in Nährmedium → Hitzeschock.		<input type="checkbox"/>	
c)	Zellen in Nährmedium → Hitzeschock → Zellen in Transformationslösung.		<input type="checkbox"/>	
d)	Zellen in Transformationslösung → Hitzeschock → Zellen in Nährmedium.		<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Abfolge der Teilsequenzen in einem Expressionsplasmid			
	Ein Plasmid zur Expression eines artfremden Gens soll neu kombiniert werden. Transformierte Bakterien werden das fremde Eiweiß herstellen, wenn im Plasmid folgende DNA-Abschnitte hintereinander liegen:			
a)	Resistenzgen → Fremdgen → Replikationsstart.		<input type="checkbox"/>	
b)	Replikationsstart → Fremdgen → bakterielle Regulationssequenz.		<input type="checkbox"/>	
c)	bakterielle Regulationssequenz → Fremdgen → Resistenzgen.		<input checked="" type="checkbox"/>	
d)	Fremdgen → Replikationsstart → bakterielle Regulationssequenz.		<input type="checkbox"/>	
4	Bedeutung des Transformationsschrittes in der Transformationslösung			
	Bei einer Transformation müssen die Bakterien in der Transformationslösung			
a)	kurzfristig erhitzt werden, damit sie die DNA aufnehmen.		<input checked="" type="checkbox"/>	
b)	bei Raumtemperatur gehalten werden, damit sie sich wieder vermehren.		<input type="checkbox"/>	
c)	ausplattiert werden, damit sichtbare Kolonien erkennbar werden.		<input type="checkbox"/>	
d)	im Eisbad gekühlt werden, damit sie die DNA aufnehmen.		<input type="checkbox"/>	
5	Bedeutung der Vollmedium-Kontrolle bei der Transformation			
	Bei einer Transformation werden die Wirtsbakterien auf ein Vollmedium ausplattiert, um zu überprüfen, dass sie nicht			
a)	resistent gegen einen Inhaltsstoff des Vollmediums sind.		<input type="checkbox"/>	
b)	das transformierte Plasmid schon enthalten.		<input type="checkbox"/>	
c)	durch den Versuchsablauf beeinflusst worden sind.		<input checked="" type="checkbox"/>	
d)	durch einen Inhaltsstoff des Vollmediums geschädigt worden sind.		<input type="checkbox"/>	
6	Bestandteile einer Elektrophorese-Apparatur			
	Folgende Bestandteile gehören zu einer Elektrophorese-Apparatur:			
a)	eine Elektrode, zwei Pufferkammern, ein Gelträger.		<input type="checkbox"/>	
b)	zwei Elektroden, zwei Pufferkammern, zwei Gelträger.		<input type="checkbox"/>	
c)	zwei Elektroden, eine Pufferkammer, zwei Gelträger.		<input type="checkbox"/>	
d)	zwei Elektroden, zwei Pufferkammern, ein Gelträger.		<input checked="" type="checkbox"/>	
7	Art der DNA-Bindung an die Chromatographie-Säule			
	Eine Plasmid-DNA wird in der Chromatographiesäule gebunden, weil die DNA und das Säulenmaterial über ..... miteinander verknüpft werden.			
	H-Brückenbindungen	Ionenbindungen	van-der-Waals-Kräfte	Atombindungen
	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Art der Identität bei pro- und eukaryotischer Transkription			
	Eukaryoten und Prokaryoten gleichen sich bei der Transkription in der Nutzung derselben			
	Basenkomplementarität.	Regulationssequenzen.	Enzymsysteme.	Genstruktur.
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Art der aufgenommenen DNA bei der Transformation			
	Bei einer Transformation nimmt eine Bakterienzelle nur ..... DNA-Abschnitte auf.			
	ringförmige	lineare	chromosomale	freie
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Art der durch Restriktionsenzyme gespaltenen Nukleinsäure			
	Restriktionsenzyme spalten Nukleinsäuren nur an spezifischen Stellen im			
	einzelsträngigen RNA-Molekül.	doppelsträngigen DNA-Molekül.	doppelsträngigen RNA-Molekül.	einzelsträngigen DNA-Molekül.
	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	Notwendige Upstream-Sequenzen zur Translation eines eukaryotischen Gens in Bakterien			
	Ein artfremdes Eiweiß kann von Wirtsbakterien hergestellt werden, wenn sein Gen mit einem			

	..... gekoppelt ist.			
	eukaryotischen Promotor	prokaryotischen Operator	prokaryotischen Operator und Promotor	eukaryotischen Operator und Promotor
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>
12	Stoffliche Ursache für die Auftrennung der DNA-Moleküle in der Elektrophorese			
	DNA-Moleküle werden in der Elektrophorese aufgetrennt, weil sie als Bausteine die ..... enthalten.			
	Phosphatgruppen	Purinbasen	Desoxyribose	Pyrimidinbasen
	x	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	Wirkung des „Schaltermoleküls“ bei einer positiven Operonkontrolle			
	Bei einer positiven Kontrolle über ein Operon startet das „Schaltermolekül“ die			
	Translation der DNA.	Translation der m-RNA.	Transkription der m-RNA.	Transkription der DNA.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x
14	Voraussage des Versuchsergebnisses bei einer Transformation mit gegebenen Resistenzgenen und Medien			
	Ein Bakterienstamm wird mit einem Plasmid transformiert, das Gene für die Neomycin- und Ampicillinresistenz enthält und dann auf die zwei angegebenen Agarplatten ausplattiert:			
	Welches der folgenden Versuchsergebnisse stimmt (+ = Wachstum; - = kein Wachstum)?			
Platte 1	Vollmedium mit Neomycin: +	Vollmedium mit Ampicillin: -	Vollmedium mit Neomycin: +	Vollmedium mit Ampicillin und Neomycin: +
2	Vollmedium: -	Vollmedium: +	Vollmedium: +	Vollmedium: -
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>
	Das Plasmid pGLO enthält folgenden Sequenzausschnitt: 5'...ATC ATC GAT GCA TAA TGT... 3'			
15	Zuordnung des richtigen Restriktionsenzym zu einer gegebenen DNA-Sequenz anhand der Schnittstellen-Sequenz			
	Welches der vier Restriktionsenzyme - ihre Schnittstellen sind angegeben (↓) – schneidet in diesem Ausschnitt?			
	<i>Eco</i> RI: 5'...G↓AATTC...3'	<i>Pst</i> I: 5'...CTGCA↓G...3'	<i>Bam</i> HI: 5'...G↓GATCC...3'	<i>Cla</i> I: 5'...AT↓CGAT...3'
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x
16	Voraussage der Fragmentzahl bei der Spaltung eines Plasmids mit zwei Restriktionsenzymen bei gegebener Schnittstellen-Anzahl			
	Im ganzen Plasmid sind 3 Schnittstellen für das Restriktionsenzym Bam HI und 1 Schnittstelle für das Restriktionsenzym <i>Eco</i> RI vorhanden. Wie viele Bruchstücke entstehen in diesem Fall? .....			
	.....vier.....			

**Anhang 46: Reliabilität des Subtests Wissenserwerb (N = 363)**

**1. Itemzuordnungen zu den drei Messzeitpunkten**

Item	Vortest	Nachtest I	Nachtest II
Art der durch Restriktionsenzyme gespaltenen Nukleinsäure	62	63	59
Art der Identität bei pro- und eukaryotischer Transkription	60	59	65
Art der aufgenommenen DNA bei der Transformation	61	60	63
Voraussage des Versuchsergebnisses bei einer Transformation mit gegebenen Resistenzgenen und Medien	66	67	67
Zuordnung des richtigen Restriktionsenzym zu einer gegebenen DNA-Sequenz anhand der Schnittstellen-Sequenz	67.1	66.1	66.1
Voraussage der Fragmentzahl bei der Spaltung eines Plasmids mit zwei Restriktionsenzymen bei gegebener Schnittstellen-Anzahl	67.2	66.2	66.2
Notwendige Upstream-Sequenzen zur Translation eines eukaryotischen Gens in Bakterien	63	62	61
Wirkung des „Schaltermoleküls“ bei einer positiven Operonkontrolle	65	64	60
Stoffliche Ursache für die Auftrennung der DNA-Moleküle in der Elektrophorese	64	65	62



Signifikanz (2-seitig)									
Nachtest II									
Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest									
		NT II Item 53	NT II Item 54	NT II Item 55	NT II Item 56	NT II Item 57	NT II Item 58	NT II Item 59	NT II Item 60
N		363	363	363	363	363	363	363	363
Parameter der Normalverteilung: Mittelwert		,17	,39	,36	,29	,71	,63	,66	,40
Standardabweichung		,379	,489	,480	,455	,453	,482	,473	,492
Extremste Differenzen	Absolut	,503	,397	,414	,447	,450	,410	,425	,390
	Positiv	,503	,397	,414	,447	,263	,272	,256	,390
	Negativ	-,324	-,285	-,268	-,261	-,450	-,410	-,425	-,292
Kolmogorov-Smirnov-Z		9,580	7,566	7,888	8,523	8,575	7,808	8,102	7,431
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000

		NT II Item 61	NT II Item 62	NT II Item 63	NT II Item 64	NT II Item 65	NT II Item 66.1	NT II Item 66.2	NT II Item 67
N		363	363	363	363	363	363	363	363
Parameter der Normalverteilung: Mittelwert		,33	,41	,50	,12	,61	,61	,42	,41
Standardabweichung		,472	,493	,501	,324	,487	,489	,494	,493
Extremste Differenzen	Absolut	,427	,387	,343	,524	,400	,397	,384	,387
	Positiv	,427	,387	,339	,524	,282	,285	,384	,387
	Negativ	-,254	-,295	-,343	-,357	-,400	-,397	-,298	-,295
Kolmogorov-Smirnov-Z		8,128	7,377	6,538	9,991	7,620	7,566	7,323	7,377
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000

Alle Items sind nicht normalverteilt.

### 3. Berechnung der Reliabilität

Berechnung von Cronbachs Alpha (Zöfel 2002, S. 239)

$$\alpha = (m/m-1) * (1 - (\text{Summe Itemstreuungen}^2 / \text{Gesamtpunktwertstreuung}^2))$$

Vortest

Deskriptive Statistik

	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz	Cronbachs Alpha
VT Summe Wissen	5,07	2,544	6,472	0,58
VT Item 53	,12	,320	,103	
VT Item 54	,20	,399	,159	
VT Item 55	,08	,276	,076	
VT Item 56	,36	,482	,232	
VT Item 57	,07	,249	,062	
VT Item 58	,45	,498	,248	
VT Item 59	,07	,263	,069	
VT Item 60	,51	,501	,251	
VT Item 61	,51	,501	,251	
VT Item 62	,64	,480	,231	
VT Item 63	,29	,457	,208	
VT Item 64	,25	,431	,186	
VT Item 65	,37	,485	,235	
VT Item 66	,47	,500	,250	
VT Item 67.1	,50	,501	,251	
VT Item 67.2	,20	,401	,161	

Nachtest I

Deskriptive Statistik

	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz	Cronbachs Alpha
NT I Summe Wissen	8,63	3,276	10,731	0,67
NT I Item 53	,23	,422	,178	
NT I Item 54	,61	,487	,238	
NT I Item 55	,54	,499	,249	
NT I Item 56	,80	,399	,159	

NT I Item 57	,38	,485	,236	
NT I Item 58	,62	,485	,236	
NT I Item 59	,63	,484	,234	
NT I Item 60	,52	,500	,250	
NT I Item 61	,47	,500	,250	
NT I Item 62	,43	,495	,245	
NT I Item 63	,76	,426	,181	
NT I Item 64	,50	,501	,251	
NT I Item 65	,55	,499	,249	
NT I Item 66.1	,60	,492	,242	
NT I Item 66.2	,46	,499	,249	
NT I Item 67	,53	,500	,250	

## Nachtest II

## Deskriptive Statistik

	Mittelwert	Standard-abweichung	Varianz	Cronbachs Alpha
NT II Summe Wissen	6,44	3,256	10,604	0,71
NT II Item 53	,17	,379	,144	
NT II Item 54	,39	,489	,239	
NT II Item 55	,36	,480	,231	
NT II Item 56	,29	,455	,207	
NT II Item 57	,71	,453	,205	
NT II Item 58	,63	,482	,233	
NT II Item 59	,66	,473	,224	
NT II Item 60	,40	,492	,242	
NT II Item 61	,33	,472	,223	
NT II Item 62	,41	,493	,243	
NT II Item 63	,50	,501	,251	
NT II Item 64	,12	,324	,105	
NT II Item 65	,61	,487	,238	
NT II Item 66.1	,61	,489	,239	
NT II Item 66.2	,42	,494	,244	
NT II Item 67	,41	,493	,243	

**Anhang 47: Homogenität des Subtests Wissenserwerb (N = 363)**

Da dichotome Variablen vorliegen, werden nach Zöfel (2002, S. 137) über SPSS 11.0 die Inter-Item-Korrelationen sowie deren Durchschnitt als Maß für die Homogenität berechnet

## Vortest

	H48B	H49B	H50B	H51B	H52B
H48B	1,0000				
H49B	,0793	1,0000			
H50B	,0478	,0263	1,0000		
H51B	-,0228	,2128	,0227	1,0000	
H52B	,0771	-,0211	,0007	-,0398	1,0000
H53B	,1430	,2900	,0727	,0586	,0734
H54B	,0288	-,0620	,1437	,0040	-,0754
H55B	,0811	-,0069	,1159	,1156	,0407
H56B	-,0222	,0622	,1359	,0927	,0850
H57B	,0906	,0113	,0781	,0869	,0138
H58B	,0117	,0421	,1351	,0514	,1441
H59B	,1142	-,0105	-,0083	,0484	,0030
H60B	,0047	,0717	,1397	,1129	,0002
H61B	,0920	,0177	,1594	,0939	,1058
H62B	,0831	,0373	,1376	-,0521	,1308
H63B	,0119	-,0600	,0990	,0351	-,0505
	H53B	H54B	H55B	H56B	H57B
H53B	1,0000				
H54B	-,0010	1,0000			
H55B	,0098	,0696	1,0000		
H56B	,0874	,0906	,0522	1,0000	
H57B	,0927	,1023	,1137	,1712	1,0000
H58B	,1367	,0470	,0696	,0576	,1427
H59B	,1711	,0337	,1138	,1394	,0517
H60B	,0378	-,0676	,1601	,1373	,2102

H61B	,2014	,0285	,1417	,1527	,1598
H62B	,1367	,0082	,1239	,0798	,2015
H63B	-,0218	-,0375	,1374	,0000	,1597

	H58B	H59B	H60B	H61B	H62B
H58B	1,0000				
H59B	-,0314	1,0000			
H60B	,0863	,0484	1,0000		
H61B	,1198	,1581	,1860	1,0000	
H62B	,0611	,0657	,0847	,1137	1,0000
H63B	,0977	-,0143	,1370	,0112	,1264

	H63B
H63B	1,0000

N of Cases = 363,0

Inter-item	Correlations	Mean	Minimum	Maximum	Range	Max/Min	Variance
		,0724	-,0754	,2900	,3654	-3,8450	,0049

Damit ist besitzt die Homogenität einen Wert von 0,07.  
Nachtest I

Correlation Matrix

	H116B	H117B	H118B	H119B	H120B
H116B	1,0000				
H117B	,1664	1,0000			
H118B	,1687	,1045	1,0000		
H119B	,0927	,1452	,2172	1,0000	
H120B	,2061	,1616	,2098	,1735	1,0000
H121B	,1847	,1654	,0866	,0403	,2076
H122B	,1789	,1749	,0631	,1032	,1640
H123B	,0819	,1121	,0937	,0067	,0645
H124B	,1334	,1398	,2169	,1815	,2855
H125B	,1998	,0432	,0417	,0523	,1092
H126B	,0907	,1042	,1325	,1128	,0729
H127B	,1261	,0745	,1845	,1285	,1356
H128B	,0286	,2087	,1624	,2119	,1629
H129B	,1466	,1765	,1234	,1245	,1097
H130B	,1588	,1339	,1967	,1430	,1208

	H121B	H122B	H123B	H124B	H125B
H121B	1,0000				
H122B	,0711	1,0000			
H123B	,1744	,1288	1,0000		
H124B	,1584	,0909	,1595	1,0000	
H125B	,1091	,1803	,1371	-,0496	1,0000
H126B	,1008	,0807	,0749	,1784	,1011
H127B	,1485	,1147	,0741	,1135	,0875
H128B	,0768	,1332	,0433	,1793	,0275
H129B	,0408	,1432	,0622	,0635	,1335
H130B	,0502	,0969	,0611	,1261	,1146

	H126B	H127B	H128B	H129B	H130B
H126B	1,0000				
H127B	,1990	1,0000			
H128B	,2330	,1348	1,0000		
H129B	,0683	,0798	,1035	1,0000	
H130B	,1014	,1360	,1705	,2592	1,0000

N of Cases = 363,0

Inter-item	Correlations	Mean	Minimum	Maximum	Range	Max/Min	Variance
		,1259	-,0496	,2855	,3351	-5,7607	,0033

Damit ist besitzt die Homogenität einen Wert von 0,13.  
Nachtest II

Correlation Matrix

	H183B	H184B	H185B	H186B	H187B
--	-------	-------	-------	-------	-------

H183B	1,0000				
H184B	,0798	1,0000			
H185B	,1584	,0724	1,0000		
H186B	,0896	,1556	,1774	1,0000	
H187B	,0330	,1459	,1048	,1256	1,0000
H188B	,0767	,1409	,1745	,1363	,1251
H189B	,2183	,0804	,0571	,0978	,0909
H190B	,0665	,0517	,1680	,0873	-,0482
H191B	,0772	,0080	,1056	,0343	,0603
H192B	,1795	,0541	,2411	,1662	,1572
H193B	,0180	,0611	,0628	,1038	,1271
H194B	,0346	,0730	-,0249	,0271	,0249
H195B	,0343	,1133	,0606	,0857	,0862
H196B	,1139	,0757	,1396	,1299	,1038
H197B	,0412	,0450	,1157	,1955	,1639
H198B	,1056	,1688	,0425	,3016	,0333

	H188B	H189B	H190B	H191B	H192B
H188B	1,0000				
H189B	,1973	1,0000			
H190B	-,0482	,1830	1,0000		
H191B	,1253	,2804	,1667	1,0000	
H192B	,1115	,1787	,0760	,1465	1,0000
H193B	,1264	,0992	,0212	,0701	,1331
H194B	-,0220	,0082	-,0766	-,0060	,0754
H195B	-,0035	,1551	,1925	,1641	,1549
H196B	,0583	,1945	,1553	,0998	,1984
H197B	,0502	,1035	,0780	,1028	,0343
H198B	,1464	,2499	,1444	,1465	,1576

	H193B	H194B	H195B	H196B	H197B
H193B	1,0000				
H194B	,0566	1,0000			
H195B	,1197	,1153	1,0000		
H196B	,0744	-,0206	,1303	1,0000	
H197B	,0322	,0020	,0716	,1726	1,0000
H198B	,1219	,1794	,1779	,2098	,1479

H198B  
H198B 1,0000

N of Cases = 363,0  
Inter-item  
Correlations Mean Minimum Maximum Range Max/Min Variance  
,1036 -,0766 ,3016 ,3783 -3,9356 ,0048

Damit ist besitzt die Homogenität einen Wert von 0,10.

**Anhang 48: Korrigierte Trennschärfekoeffizienten und Schwierigkeitsindices (SI) des Subtests Wissenserwerb (N = 363)**

Item	Vortest		Nachtest I		Nachtest II	
	Spearman-Rho (p = )	SI (%)	Spearman-Rho (p = )	SI (%)	Spearman-Rho (p = )	SI (%)
Art der durch Restriktionsenzyme gespaltenen Nukleinsäure	0,313 (0,000)	64,2	0,283 (0,000)	76,3	0,373 (0,000)	66,4
Art der Identität bei pro- und eukaryotischer Transkription	0,240 (0,000)	50,7	0,280 (0,000)	62,8	0,281 (0,000)	61,4
Art der aufgenommenen DNA bei der Transformation	0,235 (0,000)	50,7	0,200 (0,000)	52,1	0,192 (0,000)	50,4
<b>Voraussage des Versuchsergebnisses bei einer Transformation mit gegebenen Resistenzgenen und Medien</b>	0,328 (0,000)	46,8	0,319 (0,000)	52,6	0,392 (0,000)	41,1
Zuordnung des richtigen Restriktionsenzym zu einer	0,248 (0,000)	50,4	0,309 (0,000)	59,5	0,303 (0,000)	60,9



gegebenen DNA-Sequenz anhand der Schnittstellen-Sequenz						
Voraussage der Fragmentzahl bei der Spaltung eines Plasmids mit zwei Restriktionsenzymen bei gegebener Schnittstellen-Anzahl	0,128 (0,014)	20,1	0,326 (0,000)	46,3	0,225 (0,000)	41,6
Notwendige Upstream-Sequenzen zur Translation eines eukaryotischen Gens in Bakterien	0,216 (0,000)	29,5	0,228 (0,000)	42,7	0,261 (0,000)	33,3
Wirkung des „Schaltermoleküls“ bei einer positiven Operonkontrolle	0,266 (0,000)	37,5	0,290 (0,000)	50,4	0,201 (0,000)	40,5
Stoffliche Ursache für die Auftrennung der DNA-Moleküle in der Elektrophorese	0,183 (0,000)	24,5	0,322 (0,000)	54,5	0,328 (0,000)	41,4
Begründung der GFP-Anwendung in der Molekularbiologie	0,153 (0,003)	11,5	0,335 (0,000)	53,7	0,218 (0,000)	39,1
Abfolge der Teilsequenzen in einem Expressionsplasmid	0,234 (0,000)	8,3	0,331 (0,000)	23,1	0,220 (0,000)	17,4
Abfolge der Teilschritte bei einer Transformation	0,136 (0,010)	19,8	0,317 (0,000)	61,4	0,281 (0,000)	35,8
Bedeutung des Transformationssschrittes in der Transformationslösung	0,158 (0,000)	36,4	0,244 (0,000)	62,3	0,221 (0,000)	63,4
<b>Bedeutung der Vollmedium-Kontrolle bei der Transformation</b>	0,104 (0,047)	6,6	0,369 (0,000)	37,7	0,322 (0,000)	29,2
Art der DNA-Bindung an die Chromatographie-Säule	0,064 (0,222)	7,4	0,317 (0,000)	47,4	0,068 (0,193)	11,9
Bestandteile einer Elektrophorese-Apparatur	0,263 (0,000)	44,6	0,290 (0,000)	80,2	0,211 (0,000)	71,3

**Anhang 49: Distraktorenprüfung und Schwierigkeitsindices des Subtests Wissenserwerb (N = 363)**

Die Distraktorenprüfung zu den drei Messzeitpunkten ist im Folgenden zusammengefasst (die richtige Antwort ist unterstrichen, zu attraktive bzw. zu unattraktive Distraktoren sind grau unterlegt (> 50 % bzw. < 10 % der falschen Ankreuzungen). Die Item-Nummerierung entspricht Anh. 46, 1.), das Item mit der Einfach-Antwort ist ebenfalls mit aufgeführt.

Vortest:

Item Nr.	Keine Antwort	Regelwidrige Antwort	a	b	c	d	Summe falscher Ankreuzungen	Schwierigkeitsindex
53	180		119	<u>42</u>	7	15	141	11,5
54	120		53	12	106	<u>72</u>	171	19,8
55	133		18	165	<u>30</u>	17	200	8,3
56	99	4	<u>132</u>	55	70	3	128	36,4
57	118	7	97	104	<u>24</u>	13	214	6,6
58	152		8	9	32	<u>162</u>	49	44,6
59	147		171	<u>27</u>	11	7	189	7,4
60	113		<u>184</u>	13	31	22	66	50,7
61	47		62	41	29	<u>184</u>	132	50,7
62	54	1	27	<u>233</u>	13	35	75	64,2
63	164	1	23	15	<u>107</u>	53	91	29,5
64	166		<u>89</u>	26	70	12	108	24,5
65	82		28	33	84	<u>136</u>	145	37,5
66	97	5	7	10	<u>170</u>	74	91	46,8
67.1	120		38	10	12	<u>183</u>	60	50,4
67.2	153	1				<u>73</u>		20,1

Ergebnis:

Neun von 48 Distraktoren (18,8 %) sind zu unattraktiv und 11 Distraktoren (22,9 %) sind zu attraktiv. Elf von 16 Items liegen im Bereich zwischen 20 und 80 %, davon sechs Items im Bereich von 40 bis 60 % Schwierigkeitsgrad. Die Schwierigkeitsgrade sind normalverteilt.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

	Schwierigkeitsindex Vortest
N	16

Parameter der Normalverteilung	Mittelwert	31,813
	Standardabweichung	18,4153
Extremste Differenzen	Absolut	,131
	Positiv	,115
	Negativ	-,131
Kolmogorov-Smirnov-Z		,525
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,946

## Nachttest I:

Item Nr.	Keine Antwort	Regelwidrige Antwort	a	b	c	d	Summe falscher Ankreuzungen	Schwierigkeitsindex
53	66		84	20	20	173	213	23,1
54	32		67	223	30	11	111	61,4
55	23	5	11	5	124	195	140	53,7
56	25		19	291	18	10	47	80,2
57	35		19	137	78	94	191	37,7
58	35	1	31	44	26	226	1015	62,3
59	36		16	228	60	21	97	62,8
60	26		37	95	189	16	148	52,1
61	69		4	10	172	108	122	47,4
62	71	1	90	155	30	16	136	42,7
63	26	1	29	18	277	12	59	76,3
64	31		49	29	183	71	149	50,4
65	87		60	5	198	13	78	54,5
66.1	69		7	63	216	8	78	59,5
66.2	63				168			46,3
67	55	8	37	10	62	191	109	52,6

## Ergebnis:

Fünf von 48 Distraktoren (10,4 %) sind zu unattraktiv und 10 Distraktoren (20,8 %) sind zu attraktiv. Alle 16 Items liegen im Bereich zwischen 20 und 80 %, davon zwölf Items im Bereich von 40 bis 60 % Schwierigkeitsindex.

Die Schwierigkeitsgrade sind normalverteilt.

## Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Schwierigkeitsindex Nachttest I
N		16
Parameter der Normalverteilung	Mittelwert	53,938
	Standardabweichung	13,8682
Extremste Differenzen	Absolut	,136
	Positiv	,136
	Negativ	-,103
Kolmogorov-Smirnov-Z		,546
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,927

## Nachttest II:

Item Nr.	Keine Antwort	Regelwidrige Antwort	a	b	c	d	Summe falsche Ankreuzungen	Schwierigkeitsindex
53	62		170	39	29	63	238	17,4
54	34	3	13	8	142	163	185	39,1
55	54		19	73	130	87	179	35,8
56	33	5	90	102	27	106	219	29,2
57	34		11	259	47	12	70	71,3
58	43	2	23	230	28	37	88	63,4
59	32	1	20	38	31	241	89	66,4
60	51		86	147	30	49	165	40,5
61	124		27	34	57	121	118	33,3
62	87		22	80	25	149	127	41,1
63	40		11	183	96	33	140	50,4
64	98		13	9	200	43	222	11,9
65	54		19	32	35	223	96	61,4
66.1	76		11	221	44	11	66	60,9
66.2	80	1				151		41,6
67	86	3	149	76	19	30	125	41,1

## Ergebnis:

Vier von 48 Distraktoren (8,3 %) sind zu unattraktiv und neun Distraktoren (18,8 %) sind zu attraktiv.

14 von 16 Items liegen im Bereich zwischen 20 und 80 %, davon 5 Items im Bereich von 40 bis 60 % Schwierigkeitsgrad.

Die Schwierigkeitsgrade sind normalverteilt.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Schwierigkeitsindex Nachtest II
N		16
Parameter der Normalverteilung	Mittelwert	44,050
	Standardabweichung	17,2246
Extremste Differenzen	Absolut	,182
	Positiv	,182
	Negativ	-,149
Kolmogorov-Smirnov-Z		,726
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,667

**Anhang 50: Modellauswahl bei der latenten Klassenanalyse**

**1. Informationstheoretische Maße**

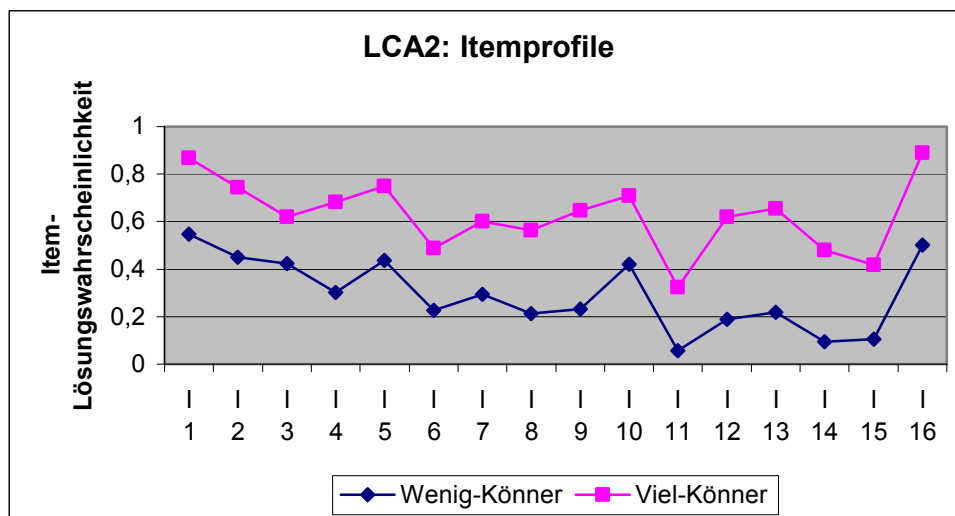
Grundlage der informationstheoretischen Maße zur Modellgeltung ist die Likelihood L. Sie ist definiert als das Produkt der Patternwahrscheinlichkeiten über alle Personen (Rost 1996, S. 325):

$$L = \prod_{v=1}^N p(X_v)$$

Die Indices zur Bewertung der Modellgeltung sind definiert als  $BIC = -2 \log L + (\log N) n_p$  und  $CAIC = -2 \log L + (\log N) n_p + n_p$  mit  $n_p$  als Anzahl der unabhängigen Modellparameter.

**2. Die Zwei-Klassen-Lösung**

Das Item-Profil der Zwei-Klassen-Lösung klassifiziert die Schüler in die Klassen der „Viel-“ und Wenig-Köner“.



Itemprofile der zwei latenten Klassen im Zwei-Klassen-Modell für den gemeinsamen Datensatz aus Vortest, Nachtest I und II (N = 1011)

**Anhang 51: Treffsicherheit bei der latenten Klassenanalyse**

**1. Berechnung der Zuordnungswahrscheinlichkeiten (vgl. Rost 1996, S. 156, verändert. nach Nerdel, pers. Mit.)**

Berechnung von Zuordnungswahrscheinlichkeiten für latente Klassen II

Berechnung von Zuordnungswahrscheinlichkeiten für latente Klassen

$$p(g | x) = \frac{\pi_g p(x | g)}{\sum_{h=1}^G \pi_h p(x | h)}$$

Formel zur Berechnung der Zuordnungswahrscheinlichkeit  $p(g|x)$ : Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person mit dem Antwortmuster  $x$  der Klasse  $g$  angehört. Sie berechnet sich im einzelnen als Quotient ...

$$p(g | x) = \frac{\pi_g p(x | g)}{\sum_{h=1}^G \pi_h p(x | h)}$$

... aus dem Produkt der Klassengröße  $\pi_g$  und der bedingten Patternwahrscheinlichkeit  $p(x|g)$  im Zähler und ....

$$p(g | x) = \frac{\pi_g p(x | g)}{\sum_{h=1}^G \pi_h p(x | h)}$$

... der Summe dieser Produkte aus  $\pi_g$  Klassengröße und der dazugehörigen bedingten Patternwahrscheinlichkeit  $p(x|h)$  über alle Klassen im Nenner.

$$p(x | g) = \prod_{j=1}^k \pi_{g_j}^{x_j} (1 - \pi_{g_j})^{1-x_j}$$

Die **bedingte Patternwahrscheinlichkeit**  $p(x|g)$  im Zähler ist selbst ein komplexes Produkt.

$$p(x | g) = \prod_{j=1}^k \pi_{g_j}^{x_j} (1 - \pi_{g_j})^{1-x_j}$$

Berechnet werden diese bedingten Patternwahrscheinlichkeiten  $p(x|g)$  für jede Klasse als das Produkt aus der Lösungswahrscheinlichkeit eines Items  $i$  in der Klasse  $g$  und der Gegenwahrscheinlichkeit dieser Lösungswahrscheinlichkeit.

$$p(x | g) = \prod_{j=1}^k \pi_{g_j}^{x_j} (1 - \pi_{g_j})^{1-x_j}$$

Das Produkt entspricht dann der bedingten Patternwahrscheinlichkeit.

**2. Maximale Zuordnungswahrscheinlichkeiten**

Aufgrund der maximalen Zuordnungswahrscheinlichkeit werden die Probanden einer Klasse zugeordnet.

Zuordnungswahrscheinlichkeit	Klasse 1 „Wenig-Könnner“	Klasse 2 „Viel-Könnner“	Klasse 3 „Vorwissen-Könnner“	Gesamt
n	502	362	147	1011
Mittelwert	0,876	0,890	0,714	0,875
Median	0,957	0,965	0,705	0,937
Standardabweichung	0,159	0,150	0,166	0,168
Minimum	0,382	0,376	0,367	0,367
Maximum	1,000	1,000	0,977	1,000
< 0,400 (%)	0,2	0,6	1,4	0,5
< 0,500	3,4	2,5	5,4	4,5
Σ 0,750	79,5	81,8	42,2	74,9
Σ 0,800	74,5	79,8	35,4	70,7
Σ 0,850	69,3	75,1	27,2	66,5
Σ 0,900	60,4	68,2	20,4	57,4
Σ 0,950	52,4	55,5	8,8	47,2
Σ 0,990	47,1	29,3	-	28,9
Σ 0,999	19,7	12,7	-	24,3

Die Klasse 3 der Vorwissen-Könnner ist am wenigsten treffsicher charakterisiert.

**3. Fremdzuordnungswahrscheinlichkeiten**

Fremdzuordnungswahrscheinlichkeit	Klasse 1		Klasse 2		Klasse 3	
	zu Kl. 2	zu Kl. 3	zu Kl. 1	zu Kl. 3	zu Kl. 1	zu Kl. 2
n	502		362		147	
Mittelwert	0,040	0,085	0,043	0,067	0,163	0,123
Median	0,028	0,012	0,004	0,016	0,123	0,065
Standardabweichung	0,086	0,129	0,089	0,105	0,113	0,126
Minimum	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001
Maximum	0,482	0,497	0,439	0,469	0,492	0,429
< 0,010 (%)	63,3	47,2	59,7	40,9	5,4	19,0
< 0,020	71,3	54,4	68,5	52,2	10,2	27,2
< 0,100	86,7	70,9	85,1	77,3	44,2	56,5
> 0,250	5,2	13,5	5,8	8,3	25,9	22,4
> 0,350	2,4	7,2	2,2	3,9	10,9	5,4
> 0,500	-	-	-	-	-	-

Die Fremdzuordnungswahrscheinlichkeiten der Klasse 3, speziell zur Klasse 1, den „Wenig-Könnnern“ sind relativ hoch. Dies erklärt die geringere Treffsicherheit in dieser Klasse.

**Anhang 52: Zusammenfassung des schrittweisen Vorgehens bei der Analyse des Subtests Interesse zur Dimensionsreduktion**

Vorbemerkung: Die Probandenzahl für die Auswertung ist um die Anzahl der Schüler erhöht, die das Modul II besucht haben (N = 80, vgl. Anh. 4). Weitergehende Informationen zu den einzelnen Beurteilungen der Faktorenanalysen finden sich in Anh. 41.

**1. Überblick über die Testitems**

Nr.	Item	VT	NT I	NT II
1	Erfolge der medizinischen Anwendungen beim Menschen;	26.	28.	33.
2	Entwicklung neuer Medikamente für den Menschen mit Hilfe der Gentechnik;	34.	34.	32.
3	Einsatzmöglichkeiten von genetischen Fingerabdrücken;	28.	25.	31.
4	Genwirkungen beim Menschen;	32.	26.	30.
5	Förderung des Ernteertrags bei gentechnisch verändertem Weizen;	29.	30.	28.
6	Verringerung der Ernteverluste durch Schädlinge bei Nutzpflanzen;	30.	33.	27.
7	Änderung von Fleisch-Eigenschaften durch eine Übertragung von Schweine-Erbgut auf Rinder;	25.	24.	25.
8	Qualitätsverbesserungen von Lebensmitteln;	31.	32.	24.
9	ethische Beurteilung der gentechnischen Anwendungen.	33.	29.	29.
10	Risiken, die mit der Freisetzung von gentechnisch veränderten Lebewesen verbunden sind;	24.	35.	34
11	moralische Begründungen von Grenzen der Gentechnik;	27.	27.	26.
12	Aussichten, umstrittene Anwendungen der Gentechnik rechtlich zu regeln.	35.	31.	35.

**2. Faktorenanalyse des Vortests**

Durch die Faktorenanalyse wird die Dimensionalität des Subtests überprüft. Sie ist die Grundlage für die folgenden Reliabilitäts- und Trennschärfenanalysen. Zur Auswertung kommen nur die Schüler, die alle 12 Items beantwortet haben (N = 274).

Ladung auf Faktor/Komponente					Skala
1	2	3	4	Kom.	Interesse an
Ethische Aspekte	Anwendungen der Grünen Gentechnik	Anwendungen beim Menschen	Risikoaspekte		
0,90				0,82	moralischen Begründungen zu Grenzen der Gentechnik
0,90				0,84	ethische Beurteilung gentechnischer Anwendungen
0,60				0,50	rechtliche Regelung umstrittener Anwendungen
	0,88			0,77	Förderung Erntertrag bei gentechnisch verändertem Weizen
	0,86			0,76	Verringerung der Ernteverluste durch Schädlinge bei Nutzpflanzen
	0,67			0,50	Qualitätsverbesserungen bei Lebensmitteln
		0,88		0,79	Erfolge bei medizinischen Anwendungen
		0,84		0,71	Entwicklung neuer Medikamente
		0,64		0,50	Genwirkungen beim Menschen
			0,69	0,58	Risiken der Freisetzung von gentechnisch veränderten Lebewesen
			0,60	0,48	Änderung von Fleischeigenschaften durch Erbgutübertragung von Schwein auf Rind
			- 0,54	0,57	Einsatzmöglichkeiten von genetischen Fingerabdrücken
3,2	2,0	1,5	1,1		Eigenwerte (vgl. 2.2. e)
18,7	18,5	17,7	10,2		erklärte Gesamtvarianz: Summe 65,2 (vgl. 2.2. e)

Die Analyse zeigt, dass vier Faktoren feststellbar sind, wobei der vierte Faktor bipolar ist.

**2.1 Stabilität der Faktorenstruktur**

Faktorenstruktur FS = 0,93 (mit N = 274 und X<sub>2</sub> = 0,54). Dieser Wert liegt über dem von Bortz (1999, S. 507) angegebenen Grenzwert (≥ 0.9 hinreichend stabil). Die Kommunalitäten, d.h. der spezifische Charakter, sind bei jedem Item relativ gering, die Varianz wird bei allen Variablen von knapp unter 50 % bis zu über 80 % durch alle Faktoren erklärt.

**2.2. Gütekriterien nach Brosius (1989, 141 ff.)**

**a) KMO- und Bartlett-Test**

Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin.		,678
Bartlett-Test auf Sphärizität	Ungefähres Chi-Quadrat	1009,869
	df	66
	Signifikanz nach Bartlett	,000

Nach Kaiser zitiert in Brosius (1989, S. 146) gilt:

KMO- bzw. MSA-Wert	Beurteilung	Anzahl Items (vgl. 2.2.b)
0,8 - < 0,9	recht gut (meritorious)	1
0,7 - < 0,8	mittelprchtig (middling)	5
0,6 - < 0,7	mäßig (mediocre)	6

Damit ist ein KMO-Wert von 0,68 als befriedigend anzusehen. Der Bartlett-Test weist darauf hin, dass in der Schülerpopulation, aus der die Stichprobe ist, die der Faktorenanalyse zugrunde liegenden Korrelationen nicht zufällig sind.

**b) MSA-Werte**

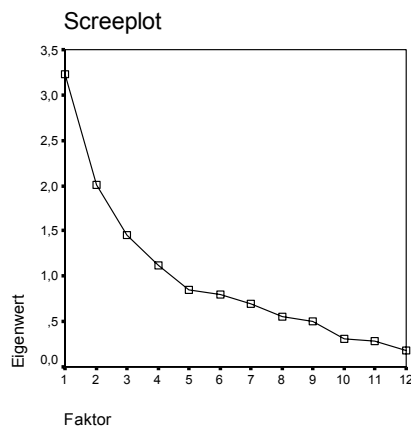
	VT Item 24	VT Item 25	VT Item 26	VT Item 27	VT Item 28	VT Item 29	VT Item 30
MSA-Wert	,790	,738	,642	,617	,762	,635	,628

VT Item 31	VT Item 32	VT Item 33	VT Item 34	VT Item 35
,752	,770	,614	,676	,838

Damit ist die Stichprobeneignung der Variablen insgesamt als befriedigend zu beurteilen.

**c) Screeplot**

Der Screeplot zeigt vier extrahierbare Faktoren an.



**d) Reproduzierte Korrelationen**

	VT Item 33	VT Item 35	VT Item 29	VT Item 30	VT Item 31	VT Item 26	VT Item 34	VT Item 32	VT Item 24	VT Item 25	VT Item 28
VT Item 27	,826	,535	-,014	,081	-,047	,121	,049	,228	,293	,088	,264
VT Item 33		,543	-,037	,056	-,054	,186	,107	,275	,330	,113	,249
VT Item 35			,178	,212	,088	,325	,289	,338	,142	,048	,405
VT Item 29				,758	,599	,055	,141	,182	,135	,301	,259
VT Item 30					,758	,599	,093	,171	,184	,324	,246
VT Item 31						,061	,124	,164	,211	,335	,091
VT Item 26							,740	,590	,190	,126	,258
VT Item 34								,555	,157	,133	,264
VT Item 32									,276	,218	,219
VT Item 24										,483	-,205
VT Item 25											-,186

Die reproduzierten Korrelationen verdeutlichen die Faktorenstruktur, zeigen aber auch die Bipolaritt des vierten Faktor auf.

**e) Erklärte Gesamtvarianz**

Komponente	Anfängliche Eigenwerte			Summen von quadrierten Faktorladungen für Extraktion			Rotierte Summe der quadrierten Ladungen		
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %
1	3,23	26,94	26,94	3,23	26,94	26,94	2,24	18,69	18,69
2	2,01	16,75	43,69	2,01	16,75	43,69	2,22	18,48	37,17
3	1,45	12,07	55,76	1,45	12,07	55,76	2,12	17,70	54,88
4	1,12	9,36	65,12	1,12	9,36	65,12	1,23	10,24	65,12
5	,85	7,05	72,17						
6	,80	6,68	78,85						
7	,69	5,76	84,61						
8	,56	4,66	89,27						
9	,50	4,19	93,46						
10	,31	2,61	96,08						

11	,28	2,37	98,45					
12	,19	1,55	100,00					

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

65,1 % der Gesamtvarianz wird durch die vier extrahierten Faktoren erklärt.

Damit ist die gewonnene Faktorenstruktur als eine Grundlage für die folgende Reliabilitäts- und Trennschärfeabschätzung geeignet.

**3. Überprüfung der Normalverteilung Vortest:**

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest (N = 274)

		VT Item 24	VT Item 25	VT Item 26	VT Item 27	VT Item 28	VT Item 29
Parameter der Normalverteilung: Mittelwert		3,89	2,94	4,43	3,38	3,81	2,52
Standardabweichung		,805	1,031	,730	1,123	,974	,992
Extremste Differenzen	Absolut	,291	,187	,328	,191	,239	,247
	Positiv	,234	,187	,219	,151	,158	,247
	Negativ	-,291	-,155	-,328	-,191	-,239	-,177
Kolmogorov-Smirnov-Z		4,823	3,099	5,436	3,168	3,962	4,086
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,000	,000	,000	,000	,000	,000

		VT Item 30	VT Item 31	VT Item 32	VT Item 33	VT Item 34	VT Item 35
Parameter der Normalverteilung: Mittelwert		2,56	3,46	4,31	3,23	4,37	3,24
Standardabweichung		,952	,894	,753	1,229	,736	1,033
Extremste Differenzen	Absolut	,218	,222	,284	,172	,318	,186
	Positiv	,218	,202	,196	,141	,197	,186
	Negativ	-,182	-,222	-,284	-,172	-,318	-,175
Kolmogorov-Smirnov-Z		3,601	3,677	4,698	2,855	5,258	3,073
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,000	,000	,000	,000	,000	,000

Alle Item-Scores sind nicht normalverteilt.

**4. Reliabilitätsabschätzung der Gesamtskala**

Zu einer ersten Übersicht und zur Beurteilung der einzelnen Items im Hinblick auf die korrigierten Trennschärfe wird aus ökonomischen Gründen zunächst eine Reliabilitätsanalyse mit Hilfe der Software SPSS 11.0 durchgeführt (vgl. Anh. 41, 3.). Alle Werte werden im Anschluss daran nach Zöfel (2002, S. 239) noch exakt berechnet.

Vortest: alle 12 Items

```

REL I A B I L I T Y   A N A L Y S I S   -   S C A L E   ( A L P H A )
1.   H16             VT Item 24
2.   H17             VT Item 25
3.   H18             VT Item 26
4.   H19             VT Item 27
5.   H20             VT Item 28
6.   H21             VT Item 29
7.   H22             VT Item 30
8.   H23             VT Item 31
9.   H24             VT Item 32
10.  H25             VT Item 33
11.  H26             VT Item 34
12.  H27             VT Item 35
      N of Cases =      274,0
Item-total Statistics
      Scale          Scale          Corrected          Squared          Alpha
      Mean          Variance          Item-          Multiple          if Item
      Deleted       Deleted          Total          Correlation       Deleted

H16      38,2482      30,2166      ,3242      ,1747      ,7294
H17      39,2007      29,6922      ,2651      ,1558      ,7382
H18      37,7044      29,9746      ,4037      ,5142      ,7222
H19      38,7591      27,3996      ,4311      ,6357      ,7159
H20      38,3321      29,7464      ,2860      ,1634      ,7346
H21      39,6204      28,6539      ,3857      ,5652      ,7221
H22      39,5803      28,5155      ,4237      ,5672      ,7173
H23      38,6752      30,1395      ,2846      ,2863      ,7340
H24      37,8285      29,4760      ,4514      ,3410      ,7170
H25      38,9088      26,5741      ,4455      ,6623      ,7143
    
```

```

H26          37,7664          30,1357          ,3777          ,4457          ,7245
H27          38,9015          27,6203          ,4643          ,3010          ,7113
Reliability Coefficients      12 items
Alpha =      ,7407

```

Die Analyse zeigt, die Gesamtskala ausreichend reliabel und trennscharf ist (korrigierte Trennschärfen  $3 > 0,25$ ,  $9 > 0,3$ , vgl. Zöfel 2002, S. 236 f.).

Daher werden die einzelnen Faktoren getrennt betrachtet:

Faktor 1:

```

R E L I A B I L I T Y   A N A L Y S I S   -   S C A L E   ( A L P H A )
1.      H19            VT Item 27
2.      H25            VT Item 33
3.      H27            VT Item 35
      N of Cases =      274,0
Item-total Statistics
      Scale          Scale          Corrected
      Mean          Variance         Item-
      if Item      if Item          Total
      Deleted      Deleted      Correlation
H19          6,4672          3,6491          ,7210          ,6224          ,5864
H25          6,6168          3,2555          ,7302          ,6307          ,5686
H27          6,6095          4,9422          ,4343          ,1894          ,8778
Reliability Coefficients      3 items
Alpha =      ,7803

```

Die Analyse zeigt, dass der erste Faktor reliabel und trennscharf erfasst worden ist (korrigierte Trennschärfe  $1 > 0,3$ ,  $2 > 0,5$ ).

Faktor 2:

```

R E L I A B I L I T Y   A N A L Y S I S   -   S C A L E   ( A L P H A )
1.      H21            VT Item 29
2.      H22            VT Item 30
3.      H23            VT Item 31
      N of Cases =      274,0
Item-total Statistics
      Scale          Scale          Corrected
      Mean          Variance         Item-
      if Item      if Item          Total
      Deleted      Deleted      Correlation
H21          6,0219          2,4464          ,6776          ,5285          ,6054
H22          5,9818          2,5308          ,6910          ,5348          ,5916
H23          5,0766          3,2432          ,4625          ,2144          ,8345
Reliability Coefficients      3 items
Alpha =      ,7708      Standardized item alpha =      ,7680

```

Die Analyse zeigt, dass auch der zweite Faktor reliabel und trennscharf erfasst worden ist (korrigierte Trennschärfe  $1 > 0,3$ ,  $2 > 0,5$ ).

Faktor 3:

```

R E L I A B I L I T Y   A N A L Y S I S   -   S C A L E   ( A L P H A )
1.      H18            VT Item 26
2.      H24            VT Item 32
3.      H26            VT Item 34
      N of Cases =      274,0
Item-total Statistics
      Scale          Scale          Corrected
      Mean          Variance         Item-
      if Item      if Item          Total
      Deleted      Deleted      Correlation
H18          8,6825          1,5069          ,6699          ,4732          ,5285
H24          8,8066          1,7610          ,4564          ,2248          ,7796
H26          8,7445          1,6121          ,5801          ,4128          ,6370
Reliability Coefficients      3 items
Alpha =      ,7401      Standardized item alpha =      ,7413

```

Die Analyse zeigt, dass auch der dritte Faktor reliabel und trennscharf erfasst worden ist (korrigierte Trennschärfe  $1 > 0,3$ ,  $2 > 0,5$ ).

Faktor 4:

```

R E L I A B I L I T Y   A N A L Y S I S   -   S C A L E   ( A L P H A )
1.      H16            VT Item 24

```



```

2.      H17      VT Item 25
3.      H20      VT Item 28
      N of Cases =      274,0
Item-total Statistics
      Scale      Scale      Corrected
      Mean      Variance      Item-
      if Item      if Item      Total
      Deleted      Deleted      Correlation
H16      6,7445      2,0224      ,1900
H17      7,6971      1,5965      ,1712
H20      6,8285      2,1426      ,0049
Reliability Coefficients      3 items
Alpha =      ,2161
    
```

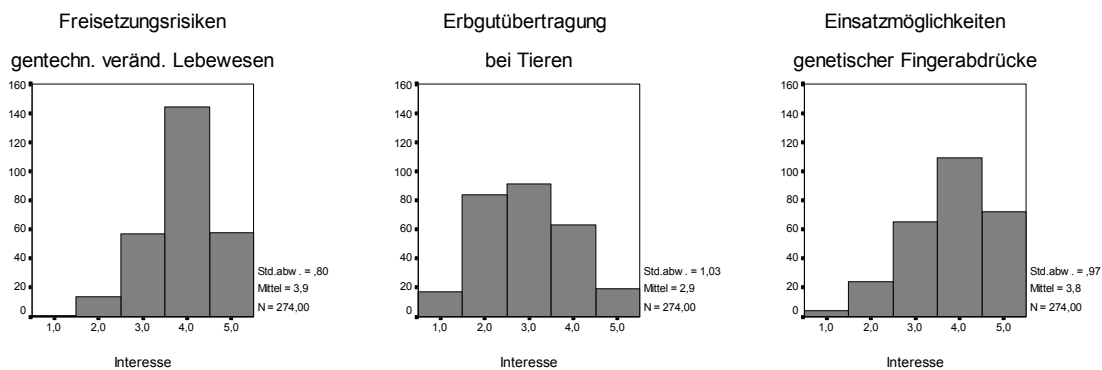
Die Analyse zeigt, dass der vierte Faktor nicht reliabel und trennscharf erfasst worden ist (korrigierte Trennschärfe  $2 < 0,2$ ,  $1 < 0,1$ ).

Zur Absicherung werden die exakten korrigierten Trennschärfe nach Zöfel (2002, S. 239) berechnet (aufgrund der fehlenden Normalverteilung als Spearman-Rho-Koeffizient (Zöfel 2002, S. 124)).

Korrigierte Trennschärfekoeffizienten:  
Korrelationen

		Item 24	Item 25	Item 28
Spearman-Rho	Korrelationskoeffizient	,156	,060	,224
	Sig. (2-seitig)	,010	,325	,000

Die Betrachtung der Antworttendenzen gibt Hinweise auf mögliche Ja- oder Nein-sage-Tendenzen als Grund für die fehlende Trennschärfe:



Antworttendenzen zu den Items des vierten Interesse-Faktors (Skala mit 1 = gar nicht, 2 = kaum, 3 = mittelmäßig, 4 = ziemlich, 5 = außerordentlich.)

Es liegen keine eindeutigen Ja- oder Nein-sage-Tendenzen vor.

Dies lässt die Bipolarität des Faktors als mögliche Ursache der fehlenden Reliabilität vermuten. Als nächster Schritt folgt eine Überprüfung der Nachttest I - und Nachttest II -Ergebnisse.

**5. Faktorenanalyse des Nachttests I**

Ladung auf Faktor/Komponente				Skala:
1	2	3	Kom.	Interesse an
Ethische Aspekte	Anwendungen der Grünen Gentechnik	Anwendungen beim Menschen		
0,89			0,81	moralischen Begründungen zu Grenzen der Gentechnik
0,91			0,84	ethische Beurteilung gentechnischer Anwendungen
0,64			0,45	rechtliche Regelung umstrittener Anwendungen
0,44			0,31	Risiken der Freisetzung von gentechnisch veränderten Lebewesen
	0,76		0,60	Förderung Ernteertrag bei gentechnisch verändertem Weizen
	0,79		0,67	Verringerung der Ernteverluste durch Schädlinge bei Nutzpflanzen
	0,76		0,60	Qualitätsverbesserungen bei Lebensmitteln
	0,63		0,44	Änderung von Fleischeigenschaften durch Erbgutübertragung von Schwein auf Rind
		0,76	0,64	Erfolge bei medizinischen Anwendungen
		0,77	0,64	Entwicklung neuer Medikamente

		0,63	0,50	Genwirkungen beim Menschen
		0,56	0,34	Einsatzmöglichkeiten von genetischen Fingerabdrücken
2,9	2,4	1,6		Eigenwerte (vgl. 5.2. e)
20,1	20,0	16,9		erklärte Gesamtvarianz: Summe 57,0 (vgl. 5.2. e)

Die Faktorenanalyse ergibt, dass nur noch drei Faktoren extrahierbar sind, die Items des Faktors 4 aus dem Vortest teilen sich auf die drei verbliebenen Faktoren auf, entsprechend ihres inhaltlichen Bezugs.

### 5.1 Stabilität der Faktorenstruktur:

Sie wird nach Bortz berechnet:

Faktorenstabilität  $FS = 0,92$  (mit  $N = 273$  und  $X_2 = 0,44$ :  $FS = 0,92$ ). Dieser Wert liegt über dem von Bortz (1999, S.517) angegebenen Grenzwert ( $\geq 0,9$  hinreichend stabil). Die Kommunalitäten, d.h. der spezifische Charakter, sind bei den Items, die den Faktor gewechselt haben, am größten. Gleichzeitig liegt bei zwei Items die Faktorladung unter 0,6 (vgl. Bortz & Döring 1995, S. 201).

### 5.2. Gütekriterien nach Brosius (1989, 141 ff.)

#### a) KMO- und Bartlett-Test

Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin.		,698
Bartlett-Test auf Sphärizität	Ungefähres Chi-Quadrat	967,890
	df	66
	Signifikanz nach Bartlett	,000

Nach Kaiser zitiert in Brosius (1989, S. 146) gilt:

KMO- bzw. MSA-Wert	Beurteilung	Anzahl Items (vgl. 5.2. b)
0,8 - < 0,9	recht gut (meritorious)	3
0,7 - < 0,8	mittelprächtigt (middling)	2
0,6 - < 0,7	mäßig (mediocre)	7

Damit ist ein KMO-Wert von 0,70 als befriedigend anzusehen. Der Bartlett-Test weist darauf hin, dass in der Schülerpopulation, aus der die Stichprobe ist, die der Faktorenanalyse zugrunde liegenden Korrelationen nicht zufällig sind.

#### b) MSA-Werte

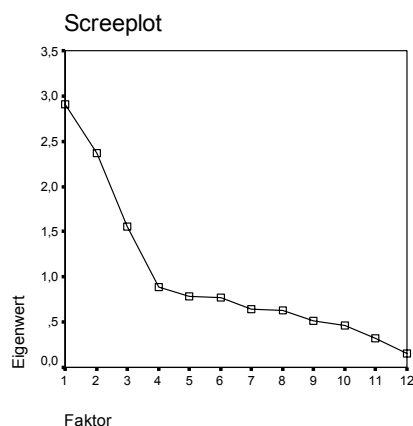
	NT Item 24	NT Item 25	NT Item 26	NT Item 27	NT Item 28	NT Item 29	NT Item 30
MSA-Wert	,718	,648	,817	,617	,695	,616	,691

NT Item 31	NT Item 32	NT Item 33	NT Item 34	NT Item 35
,882	,756	,676	,682	,866

Damit ist die Stichprobeneignung der Variablen insgesamt als befriedigend zu beurteilen.

#### c) Screeplot

Der Screeplot zeigt drei extrahierbare Faktoren.



#### d) Reproduzierte Korrelationen

Reproduzierte Korrelation	NT Item 27	NT Item 31	NT Item 35	NT Item 33	NT Item 32	NT Item 30	NT Item 24	NT Item 34	NT Item 28	NT Item 26	NT Item 25
NT Item 29	,826	,570	,373	-,151	-,174	,034	,034	-,094	,221	,274	,065
NT Item 27		,552	,352	-,183	-,205	-,002	,003	-,096	,216	,266	,074
NT Item 31			,346	,087	,048	,196	,134	,070	,267	,295	,079
NT Item 35				,231	,189	,292	,199	,150	,263	,278	,068
NT Item 33					,625	,608	,449	,311	,198	,194	-,024
NT Item 32						,571	,452	,212	,094	,103	-,090
NT Item 30							,472	,205	,164	,185	-,069

NT Item 24									-,038	-,064	-,012	-,206
NT Item 34										,576	,477	,395
NT Item 28										,	,557	,418
NT Item 26										,	,	,344

Die reproduzierten Korrelationen verdeutlichen klar die Faktorenstruktur.

**e) Erklärte Gesamtvarianz**

Komponente	Anfängliche Eigenwerte			Summen von quadrierten Faktorladungen für Extraktion			Rotierte Summe der quadrierten Ladungen		
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %
1	2,91	24,28	24,28	2,91	24,28	24,28	2,41	20,10	20,10
2	2,37	19,73	44,01	2,37	19,73	44,01	2,40	19,99	40,09
3	1,55	12,94	56,95	1,55	12,94	56,95	2,02	16,86	56,95
4	,88	7,35	64,31						
5	,79	6,59	70,90						
6	,77	6,40	77,30						
7	,64	5,35	82,65						
8	,63	5,23	87,88						
9	,52	4,32	92,20						
10	,47	3,88	96,07						
11	,32	2,66	98,73						
12	,15	1,27	100,00						

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

57 % der Gesamtvarianz wird durch die drei extrahierten Faktoren erklärt.

Damit ist die gewonnene Faktorenstruktur als eine Grundlage für die folgende Reliabilitäts- und Trennschärfenabschätzung geeignet.

**6. Faktorenanalyse des Nachtests II**

Ladung auf Faktor/Komponente			Skala:	
1	2	3	Kom.	
Ethische Aspekte	Anwendungen der Grünen Gentechnik	Anwendungen beim Menschen		Interesse an
0,86			0,77	moralischen Begründungen zu Grenzen der Gentechnik
0,85			0,75	ethische Beurteilung gentechnischer Anwendungen
0,73			0,54	rechtliche Regelung umstrittener Anwendungen
0,51			0,39	Risiken der Freisetzung von gentechnisch veränderten Lebewesen
	0,85		0,73	Förderung Erntertrag bei gentechnisch verändertem Weizen
	0,80		0,667	Verringerung der Ernteverluste durch Schädlinge bei Nutzpflanzen
	0,72		0,54	Qualitätsverbesserungen bei Lebensmitteln
	0,59		0,35	Änderung von Fleischeigenschaften durch Erbgutübertragung von Schwein auf Rind
		0,86	0,75	Erfolge bei medizinischen Anwendungen
		0,86	0,75	Entwicklung neuer Medikamente
		0,68	0,51	Genwirkungen beim Menschen
		0,61	0,38	Einsatzmöglichkeiten von genetischen Fingerabdrücken
3,0	2,4	1,8		Eigenwerte (vgl. 6.2. e)
20,3	19,6	19,6		erklärte Gesamtvarianz Summe 59,4 (vgl. 6.2. e)

Die Faktorenanalyse ergibt erneut, dass nur noch drei Faktoren extrahierbar sind, die Items des Faktor 4 aus dem Vortest teilen sich wieder auf die drei verbliebenen Faktoren auf, entsprechend ihres inhaltlichen Bezugs.

**6.1 Stabilität der Faktorenstruktur:**

Faktorenstabilität FS = 0,93 (mit N = 273 und  $X_2 = 0,51$ ). Dieser Wert liegt über dem von Bortz (1999, S. 507) angegebenen Grenzwert ( $\geq 0,9$  hinreichend stabil). Die Kommunalitäten sind erneut bei den Items, die den Faktor gewechselt haben, am größten. Gleichzeitig liegt bei zwei der Items die Faktorladung wieder unter 0,6 (vgl. Bortz & Döring 1995, S. 201).

**6.2. Gütekriterien nach Brosius (1989, 141 ff.)**

**a) KMO- und Bartlett-Test**

Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin.		,689
Bartlett-Test auf Sphärizität	Ungefähres Chi-Quadrat	1094,805

	df	66
	Signifikanz nach Bartlett	,000

Nach Kaiser zitiert in Brosius (1989, S. 146) gilt:

KMO- bzw. MSA-Wert	Beurteilung	Anzahl Items
0,8 - < 0,9	recht gut (meritorious)	3
0,7 - < 0,8	mittelprachtig (middling)	2
0,6 - < 0,7	mäßig (mediocre)	7

Damit ist ein KMO-Wert von 0,69 als befriedigend anzusehen. Der Bartlett-Test weist darauf hin, dass in der Schülerpopulation, aus der die Stichprobe ist, die der Faktorenanalyse zugrunde liegenden Korrelationen nicht zufällig sind.

#### b) MSA-Werte

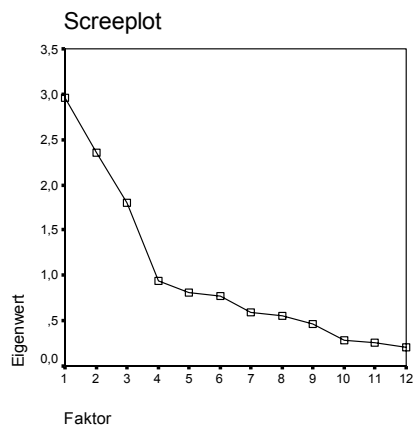
	BT Item 24	BT Item 25	BT Item 26	BT Item 27	BT Item 28	BT Item 29	BT Item 30
MSA-Wert	,734	,641	,624	,614	,639	,639	,851

BT Item 31	BT Item 32	BT Item 33	BT Item 34	BT Item 35
,821	,674	,671	,835	,792

Damit ist die Stichprobeneignung der Variablen insgesamt als befriedigend zu beurteilen.

#### c) Screeplot

Der Screeplot zeigt drei extrahierbare Faktoren.



#### d) Reproduzierte Korrelationen

Reproduzierte Korrelation	BT Item 32	BT Item 30	BT Item 31	BT Item 26	BT Item 29	BT Item 35	BT Item 34	BT Item 28	BT Item 27	BT Item 24	BT Item 25
BT Item 33	,748	,592	,524	,057	,086	,073	,277	,042	,117	,095	-,054
BT Item 32		,588	,515	,040	,071	,075	,287	,101	,172	,146	-,012
BT Item 30			,425	,233	,254	,212	,321	,036	,091	,032	-,059
BT Item 31				,093	,110	,067	,190	-,069	-,012	-,025	-,110
BT Item 26					,757	,611	,416	-,044	-,051	-,214	-,112
BT Item 29						,610	,427	-,025	-,030	-,193	-,101
BT Item 35							,407	,164	,150	-,008	,043
BT Item 34								,229	,236	,112	,086
BT Item 28									,689	,599	,495
BT Item 27										,577	,462
BT Item 24											,419

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

Die reproduzierten Korrelationen verdeutlichen klar die Faktorenstruktur.

#### e) Erklärte Gesamtvarianz

Komponente	Anfängliche Eigenwerte			Summen von quadrierten Faktorladungen für Extraktion			Rotierte Summe der quadrierten Ladungen		
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %
1	2,97	24,71	24,71	2,97	24,71	24,71	2,43	20,26	20,26
2	2,35	19,62	44,33	2,35	19,62	44,33	2,35	19,56	39,83
3	1,81	15,06	59,39	1,81	15,06	59,39	2,35	19,56	59,39
4	,94	7,83	67,21						
5	,81	6,72	73,94						
6	,77	6,40	80,34						
7	,60	4,98	85,31						
8	,55	4,59	89,90						

9	,47	3,90	93,80						
10	,28	2,32	96,12						
11	,26	2,14	98,26						
12	,21	1,74	100,00						

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

59,4 % der Gesamtvarianz wird durch die drei extrahierten Faktoren erklärt.

Damit ist auch die Faktorenstruktur des Nachtests II als eine Grundlage für die folgende Reliabilitäts- und Trennschärfenabschätzung geeignet.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass aufgrund des Faktorenwechsels auf die drei Items des Faktors vier des Vortestes verzichtet werden muss. Daher wird die Faktorenanalyse aller drei Tests mit den verbleibenden neun Items wiederholt.

**7. Faktorenanalyse Vortest: Skala mit neun Items**

Ladung auf Faktor/Komponente			Skala	
1	2	3	Kom.	Interesse an
Ethische Aspekte	Anwendungen der Grünen Gentechnik	Anwendungen beim Menschen		
0,91			0,83	moralischen Begründungen zu Grenzen der Gentechnik
0,91			0,85	ethische Beurteilung gentechnischer Anwendungen
0,60			0,48	rechtliche Regelung umstrittener Anwendungen
	0,87		0,77	Förderung Ernteertrag bei gentechnisch verändertem Weizen
	0,88		0,78	Verringerung der Ernteverluste durch Schädlinge bei Nutzpflanzen
	0,71		0,52	Qualitätsverbesserungen bei Lebensmitteln
		0,88	0,79	Erfolge bei medizinischen Anwendungen
		0,84	0,72	Entwicklung neuer Medikamente
		0,65	0,52	Genwirkungen beim Menschen
2,9	1,9	1,4		Eigenwerte (vgl. 7.2.e)
23,6	23,3	22,6		erklärte Gesamtvarianz: Summe 69,4 (vgl. 7.2.e)

Die Analyse bestätigt die drei Faktoren des Subtests Interesse.

**7.1 Stabilität der Faktorenstruktur**

Faktorenstabilität FS = 0,94 (mit N = 274 und X<sub>2</sub> = 0,60). Dieser Wert liegt über dem von Bortz (1999, S.517) angegebenen Grenzwert (≥ 0.9 hinreichend stabil). Die Kommunalitäten sind bei jedem Item relativ gering, die Varianz wird bei allen Variablen von knapp unter 50 % bis zu über 80 % durch alle Faktoren erklärt.

**7.2. Gütekriterien nach Brosius (1989, 141 ff.)**

**a) KMO- und Bartlett-Test**

Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin.		,645
Bartlett-Test auf Sphärizität	Ungefähres Chi-Quadrat	884,835
	df	36
	Signifikanz nach Bartlett	,000

Nach Kaiser zitiert in Brosius (1989, S. 146) gilt:

KMO- bzw. MSA-Wert	Beurteilung	Anzahl Items
0,8 - < 0,9	recht gut (meritorious)	1
0,7 - < 0,8	mittelprächtigt (middling)	2
0,6 - < 0,7	mäßig (mediocre)	3
0,5 - < 0,6	schlecht (miserable)	3

Damit ist ein KMO-Wert von 0,65 als ausreichend anzusehen. Der Bartlett-Test weist darauf hin, dass in der Schülerpopulation, aus der die Stichprobe ist, die der Faktorenanalyse zugrunde liegenden Korrelationen nicht zufällig sind.

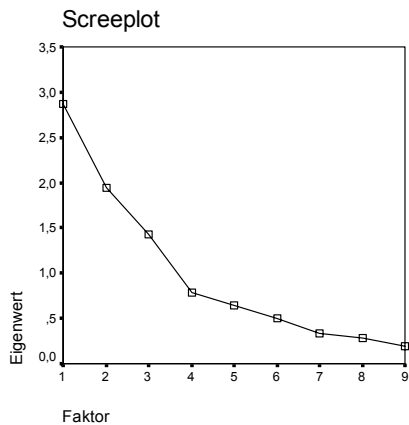
**b) MSA-Werte**

	VT Item 26	VT Item 27	VT Item 29	VT Item 30	VT Item 31	VT Item 32	VT Item 33	VT Item 34	VT Item 35
MSA-Wert	,632	,592	,600	,591	,733	,745	,583	,663	,865

Damit ist die Stichprobeneignung der Variablen insgesamt als ausreichend zu beurteilen, die drei Werte unter 0,6 sind nur knapp unter dieser Grenze.

**c) Screeplot**

Der Screeplot zeigt drei extrahierbare Faktoren.



**d) Reproduzierte Korrelationen**

Reproduzierte Korrelation	VT Item 27	VT Item 35	VT Item 30	VT Item 29	VT Item 31	VT Item 26	VT Item 34	VT Item 32
VT Item 33	,837	,577	,069	-,022	-,037	,182	,119	,297
VT Item 27		,558	,093	-,002	-,023	,116	,059	,254
VT Item 35			,198	,150	,116	,325	,295	,379
VT Item 30				,766	,624	,014	,110	,201
VT Item 29					,629	,053	,153	,209
VT Item 31						,061	,143	,180
VT Item 26							,744	,592
VT Item 34								,573

Die reproduzierten Korrelationen verdeutlichen klar die Faktorenstruktur.

**e) Erklärte Gesamtvarianz**

Komponente	Anfängliche Eigenwerte			Summen von quadrierten Faktorladungen für Extraktion			Rotierte Summe der quadrierten Ladungen		
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %
1	2,864	31,817	31,817	2,864	31,817	31,817	2,121	23,565	23,565
2	1,949	21,657	53,474	1,949	21,657	53,474	2,095	23,278	46,843
3	1,433	15,925	69,399	1,433	15,925	69,399	2,030	22,556	69,399
4	,791	8,790	78,190						
5	,650	7,220	85,409						
6	,504	5,602	91,011						
7	,334	3,712	94,723						
8	,287	3,190	97,913						
9	,188	2,087	100,000						

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

69,4 % der Gesamtvarianz wird durch die drei extrahierten Faktoren erklärt.

Damit ist die gewonnene Faktorenstruktur als eine Grundlage für die folgende Reliabilitäts- und Trennschärfeabschätzung geeignet.

**8. Faktorenanalyse Nachtest I: Skala mit neun Items**

Ladung auf Faktor/Komponente			Skala	
1	2	3	Kom.	Interesse an
Ethische Aspekte	Anwendungen der Grünen Gentechnik	Anwendungen beim Menschen		
0,91			0,83	moralischen Begründungen zu Grenzen der Gentechnik
0,90			0,85	ethische Beurteilung gentechnischer Anwendungen
0,67			0,50	rechtliche Regelung umstrittener Anwendungen
	0,80		0,66	Förderung Ernteertrag bei gentechnisch verändertem Weizen
	0,86		0,76	Verringerung der Ernteverluste durch Schädlinge bei Nutzpflanzen
	0,77		0,60	Qualitätsverbesserungen bei Lebensmitteln
		0,80	0,69	Erfolge bei medizinischen Anwendungen
		0,80	0,69	Entwicklung neuer Medikamente

		0,72	0,58	Genwirkungen beim Menschen
2,9	1,9	1,4		Eigenwerte
24,8	22,9	20,5		erklärte Gesamtvarianz: Summe 68,3

Die Analyse bestätigt die drei Faktoren des Subtests Interesse.

**8.1 Stabilität der Faktorenstruktur**

Faktorenstabilität FS = 0,95 (mit N = 274 und X<sub>2</sub> = 0,67). Dieser Wert liegt über dem von Bortz (1999, S. 507) angegebenen Grenzwert (≥ 0.9 hinreichend stabil). Die Kommunalitäten sind bei jedem Item relativ gering, die Varianz wird bei allen Variablen von 50 % bis zu über 80 % durch alle Faktoren erklärt.

**8.2. Gütekriterien nach Brosius (1989, 141 ff.)**

**a) KMO- und Bartlett-Test**

Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin.		,670
Bartlett-Test auf Sphärizität	Ungefähres Chi-Quadrat	826,450
	df	36
	Signifikanz nach Bartlett	,000

Nach Kaiser zitiert in Brosius (1989, S. 146) gilt:

KMO- bzw. MSA-Wert	Beurteilung	Anzahl Items (vgl. 8.2.b)
0,8 - < 0,9	recht gut (meritorious)	1
0,7 - < 0,8	mittelprächtigt (middling)	2
0,6 - < 0,7	mäßig (mediocre)	6

Damit ist ein KMO-Wert von 0,67 als befriedigend anzusehen. Der Bartlett-Test weist darauf hin, dass in der Schülerpopulation, aus der die Stichprobe ist, die der Faktorenanalyse zugrunde liegenden Korrelationen nicht zufällig sind.

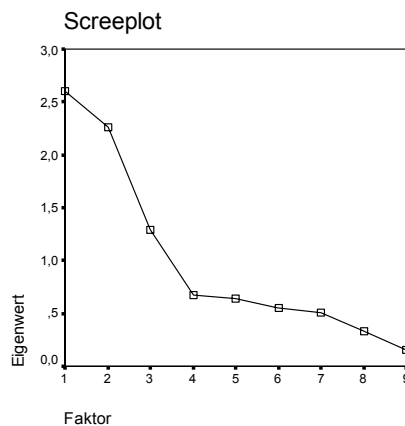
**b) MSA-Werte**

	NT Item 26	NT Item 27	NT Item 28	NT Item 29	NT Item 30	NT Item 31	NT Item 32	NT Item 33	NT Item 34
MSA-Wert	,793	,609	,675	,601	,657	,882	,773	,639	,657

Damit ist die Stichprobeneignung der Variablen insgesamt als befriedigend zu beurteilen.

**c) Screeplot**

Der Screeplot zeigt drei extrahierbare Faktoren.



**d) Reproduzierte Korrelationen**

Reproduzierte Korrelation	NT Item 27	NT Item 31	NT Item 33	NT Item 30	NT Item 32	NT Item 28	NT Item 34	NT Item 26
NT Item 29	,839	,597	-,128	,054	-,164	,229	-,101	,271
NT Item 27		,579	-,163	,018	-,196	,242	-,087	,281
NT Item 31			,145	,259	,091	,227	,015	,251
NT Item 33				,686	,673	,156	,271	,137
NT Item 30					,601	,148	,188	,144
NT Item 32						,089	,210	,073
NT Item 28							,621	,626
NT Item 34								,542

Die reproduzierten Korrelationen verdeutlichen klar die Faktorenstruktur.

**e) Erklärte Gesamtvarianz**

Komponente	Anfängliche Eigenwerte			Summen von quadrierten Faktorladungen für Extraktion			Rotierte Summe der quadrierten Ladungen		
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %

1	2,600	28,894	28,894	2,600	28,894	28,894	2,235	24,835	24,835
2	2,258	25,093	53,987	2,258	25,093	53,987	2,065	22,947	47,782
3	1,289	14,324	68,311	1,289	14,324	68,311	1,848	20,529	68,311
4	,673	7,482	75,794						
5	,635	7,054	82,848						
6	,552	6,135	88,983						
7	,506	5,624	94,607						
8	,330	3,665	98,272						
9	,155	1,728	100,000						

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

68,3 % der Gesamtvarianz wird durch die drei extrahierten Faktoren erklärt.

### 9. Faktorenanalyse Nachtest II: Skala mit neun Items

Ladung auf Faktor/Komponente			Skala	
1	2	3	Kom.	Interesse an
Ethische Aspekte	Anwendungen der Grünen Gentechnik	Anwendungen beim Menschen		
0,88			0,80	moralischen Begründungen zu Grenzen der Gentechnik
0,88			0,79	ethische Beurteilung gentechnischer Anwendungen
0,72			0,53	rechtliche Regelung umstrittener Anwendungen
	0,89		0,80	Förderung Ernteertrag bei gentechnisch verändertem Weizen
	0,88		0,79	Verringerung der Ernteverluste durch Schädlinge bei Nutzpflanzen
	0,67		0,49	Qualitätsverbesserungen bei Lebensmitteln
		0,90	0,81	Erfolge bei medizinischen Anwendungen
		0,87	0,78	Entwicklung neuer Medikamente
		0,70	0,55	Genwirkungen beim Menschen
2,9	1,9	1,4		Eigenwerte (vgl. 9.2.e)
23,8	23,4	23,2		erklärte Gesamtvarianz: Summe 70,4 (vgl. 9.2.e)

Die Analyse bestätigt die drei Faktoren des Subtests Interesse.

#### 9.1 Stabilität der Faktorenstruktur

Faktorenstabilität  $FS = 0,95$  (mit  $N = 274$  und  $X_2 = 0,67$ :  $FS = 0,95$ ). Dieser Wert liegt über dem von Bortz (1999, S. 507) angegebenen Grenzwert ( $\geq 0,9$  hinreichend stabil). Die Kommunalitäten sind bei jedem Item relativ gering, die Varianz wird bei allen Variablen von knapp unter 50 % bis zu über 80 % durch alle Faktoren erklärt.

#### 9.2. Gütekriterien nach Brosius (1989, 141 ff.)

##### a) KMO- und Bartlett-Test

Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin.		,646
Bartlett-Test auf Sphärität	Ungefähres Chi-Quadrat	898,025
	df	36
	Signifikanz nach Bartlett	,000

Nach Kaiser zitiert in Brosius (1989, S. 146) gilt:

KMO- bzw. MSA-Wert	Beurteilung	Anzahl Items (vgl. 9.2 b)
0,8 - < 0,9	recht gut (meritorious)	3
0,7 - < 0,8	mittelprächtigt (middling)	-
0,6 - < 0,7	mäßig (mediocre)	6

Damit ist ein KMO-Wert von 0,65 als ausreichend anzusehen. Der Bartlett-Test weist darauf hin, dass in der Schülerpopulation, aus der die Stichprobe ist, die der Faktorenanalyse zugrunde liegenden Korrelationen nicht zufällig sind.

##### b) MSA-Werte

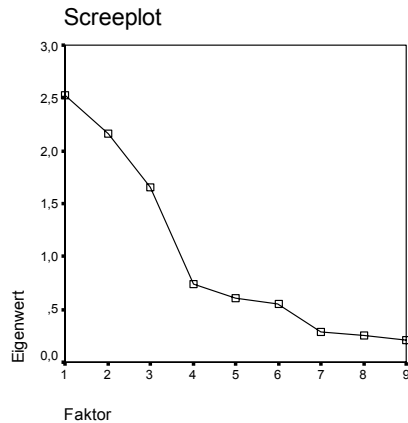
	BT Item 24	BT Item 26	BT Item 27	BT Item 28	BT Item 29	BT Item 30	BT Item 32	BT Item 33	BT Item 35
MSA-Wert	,802	,602	,603	,604	,69	,837	,620	,609	,818

Damit ist die Stichprobeneignung der Variablen insgesamt als befriedigend zu beurteilen.

##### c) Screeplot

Der Screeplot zeigt drei extrahierbare Faktoren.





**d) Reproduzierte Korrelationen**

Reproduzierte Korrelation	BT Item 29	BT Item 35	BT Item 28	BT Item 27	BT Item 24	BT Item 33	BT Item 32	BT Item 30
BT Item 26	,794	,620	-,033	-,042	-,204	,075	,067	,259
BT Item 29		,621	-,016	-,022	-,186	,101	,094	,277
BT Item 35			,177	,167	-,014	,050	,067	,193
BT Item 28				,791	,586	,011	,104	-,006
BT Item 27					,592	,080	,170	,044
BT Item 24						,127	,192	,040
BT Item 33							,792	,635
BT Item 32								,617

Die reproduzierten Korrelationen verdeutlichen klar die Faktorenstruktur.

**e) Erklärte Gesamtvarianz**

Komponente	Anfängliche Eigenwerte			Summen von quadrierten Faktorladungen für Extraktion			Rotierte Summe der quadrierten Ladungen		
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %
1	2,526	28,066	28,066	2,526	28,066	28,066	2,149	23,875	23,875
2	2,166	24,065	52,131	2,166	24,065	52,131	2,109	23,428	47,303
3	1,654	18,382	70,514	1,654	18,382	70,514	2,089	23,211	70,514
4	,734	8,150	78,664						
5	,604	6,717	85,380						
6	,553	6,148	91,528						
7	,291	3,234	94,762						
8	,259	2,874	97,636						
9	,213	2,364	100,000						

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

70,5 % der Gesamtvarianz wird durch die drei extrahierten Faktoren erklärt.

**Anhang 53: Analyse des Subtests Interesse im Hinblick auf Trennschärfe, Reliabilität und Homogenität**

Vorbemerkung: Zur Probandenzahl für die Auswertung vgl. die Vorbemerkung von Anh. 52 und zum Überblick über die Testitems Anh. 52.1.

**1. Überprüfung der Normalverteilung**

Die Variablen des Vortests sind nicht normalverteilt (vgl. Anh. 52, 3).

Im Folgenden werden die Variablen des Nachtest I und II überprüft.

Nachtest I:

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		NT Item 26	NT Item 27	NT Item 28	NT Item 29	NT Item 30	NT Item 31	NT Item 32	NT Item 33	NT Item 34
N		274	274	274	274	274	274	274	274	274
Parameter der Normalverteilung: Mittelwert		4,15	3,48	4,32	3,47	2,45	3,09	3,18	2,59	4,35
Standardabweichung		,720	1,066	,695	1,113	,968	,972	1,000	,987	,659
Extremste Differenzen	Absolut	,249	,219	,277	,184	,275	,207	,191	,230	,293
	Positiv	,249	,141	,236	,163	,275	,207	,175	,230	,248

	Negativ	-,244	-,219	-,277	-,184	-,185	-,205	-,191	-,157	-,293
Kolmogorov-Smirnov-Z		4,114	3,631	4,591	3,045	4,549	3,434	3,162	3,812	4,844
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000

Nachtest II:

### Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		BT Item 24	BT Item 26	BT Item 27	BT Item 28	BT Item 29	BT Item 30	BT Item 32	BT Item 33	BT Item 35
N		274	274	274	274	274	274	274	274	274
Parameter der Normalverteilung: Mittelwert		3,05	3,40	2,67	2,53	3,38	4,19	4,32	4,23	3,06
Standard-ab-weichung		,880	1,041	,899	,915	1,107	,722	,759	,796	,993
Extremste Differenzen	Absolut	,225	,250	,229	,254	,223	,261	,286	,274	,217
	Positiv	,220	,159	,229	,254	,134	,257	,191	,174	,217
	Negativ	-,225	-,250	-,186	-,177	-,223	-,261	-,286	-,274	-,203
Kolmogorov-Smirnov-Z		3,725	4,141	3,787	4,200	3,698	4,324	4,742	4,531	3,590
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000

Alle Variablen sind nicht normalverteilt.

## 2. Korrigierte Trennschärfe und Fremdtrennschärfen

Die korrigierten Trennschärfe werden nach Zöfel (2002, S. 239) berechnet (aufgrund der fehlenden Normalverteilung als Spearman-Rho-Koeffizient (Zöfel 2002, S. 124)).

Korrigierte Trennschärfekoeffizienten und Fremdtrennschärfen:

Vortest:

### Korrelationen Spearman-Rho

Nachtest I	VT Item 26	VT Item 27	VT Item 29	VT Item 30	VT Item 31	VT Item 32	VT Item 33	VT Item 34	VT Item 35
Korrigierter Trennschärfekoeffizient	,362	,437	,350	,415	,278	,449	,449	,375	,467
Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
Fremdtrennschärfe gegen Faktor									
	1	,197		,067	,144	,011	,284		,189
	Sig. (2-seitig)	,001		,267	,017	,851	,000		,002
gegen Faktor 2	,084	,042				,237	,018	,188	,164
Sig. (2-seitig)	,152	,489				,000	,764	,002	,007
gegen Faktor 3		,158	,171	,174	,227		,246		,304
Sig. (2-seitig)		,009	,005	,004	,000		,000		,000

Alle korrigierten Trennschärfekoeffizienten sind signifikant. Acht von neun Items liegen über der Grenze von 0,3 (Weise, 1975, S. 219), das restliche Item nur knapp darunter. Alle Fremdtrennschärfen sind niedriger als die korrigierten Trennschärfekoeffizienten.

Nachtest I:

### Korrelationen Spearman-Rho

Nachtest I	NT Item 26	NT Item 27	NT Item 28	NT Item 29	NT Item 30	NT Item 31	NT Item 32	NT Item 33	NT Item 34
Korrigierter Trennschärfekoeffizient	,379	,333	,426	,336	,368	,345	,220	,308	,277
Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
Fremdtrennschärfe gegen Faktor									
	1	,270		,229		,086		-,104	-,068
	Sig. (2-seitig)	,000		,000		,156		,085	,264
gegen Faktor 2	,114	-,103	,184	-,086		,112			,267
Sig. (2-seitig)	,060	,090	,002	,156		,064			,000
gegen Faktor 3		,161		,155	,226	,181	,186	,226	
Sig. (2-seitig)		,008		,010	,000	,003	,002	,000	

Alle korrigierten Trennschärfekoeffizienten sind signifikant. Sieben von neun Items liegen über der Grenze von 0,3 (Weise, 1975, S. 219), die beiden restlichen Items über 0,2. Alle Fremdtrennschärfen sind niedriger als die korrigierten Trennschärfekoeffizienten.

Nachtest II:

Korrelationen Spearman-Rho

Nachtest I	BT Item 24	BT Item 26	BT Item 27	BT Item 28	BT Item 29	BT Item 30	BT Item 32	BT Item 33	BT Item 35
Korrigierter Trennschärfekoeffizient	,152	,342	,326	,306	,366	,385	,380	,321	,360
Sig. (2-seitig)	,012	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
Fremdtrennschärfe gegen Faktor 1	-,129		,016	,023		,268	,110	,099	
Sig. (2-seitig)	,032		,796	,704		,000	,069	,102	
gegen Faktor 2		-,086			-,066	,099	,172	,093	,096
Sig. (2-seitig)		,156			,274	,103	,004	,124	,112
gegen Faktor 3	,128	,104	,141	,102	,171				,152
Sig. (2-seitig)	,034	,086	,020	,092	,004				,012

Alle korrigierten Trennschärfekoeffizienten sind signifikant. Acht von neun Items liegen über der Grenze von 0,3 (Weise, 1975, S. 219), das restliche Item über 0,15. Alle Fremdtrennschärfen sind niedriger als die korrigierten Trennschärfekoeffizienten.

### 3. Homogenität

Vortest

Korrelationen

Faktor 1			VT Item 27	VT Item 35	Homogenität
Spearman-Rho	VT Item 33	Korrelationskoeffizient	,786	,416	0,53
		Sig. (2-seitig)	,000	,000	
	VT Item 27	Korrelationskoeffizient		,402	
		Sig. (2-seitig)		,000	

Faktor 2			VT Item 29	VT Item 31	Homogenität
Spearman-Rho	VT Item 30	Korrelationskoeffizient	,695	,437	0,52
		Sig. (2-seitig)	,000	,000	
	VT Item 29	Korrelationskoeffizient		,416	
		Sig. (2-seitig)		,000	

Faktor 3			VT Item 34	VT Item 32	Homogenität
Spearman-Rho	VT Item 26	Korrelationskoeffizient	,609	,424	0,45
		Sig. (2-seitig)	,000	,000	
	VT Item 34	Korrelationskoeffizient	1,000	,330	
		Sig. (2-seitig)	,	,000	

Nachtest I

Korrelationen

Faktor 1			NT Item 27	NT Item 31	Homogenität
Spearman-Rho	NT Item 29	Korrelationskoeffizient	,843	,421	0,55
		Sig. (2-seitig)	,000	,000	
	NT Item 27	Korrelationskoeffizient		,382	
		Sig. (2-seitig)		,000	

Faktor 2			NT Item 30	NT Item 32	Homogenität
Spearman-Rho	NT Item 33	Korrelationskoeffizient	,597	,518	0,51

		Sig. (2-seitig)	,000	,000	
	NT Item 30	Korrelationskoeffizient		,402	
		Sig. (2-seitig)		,000	

Faktor 3			VT Item 34	VT Item 26	Homogenität
Spearman-Rho	NT Item 28	Korrelationskoeffizient	,513	,468	0,44
		Sig. (2-seitig)	,000	,000	
	BT Item 34	Korrelationskoeffizient		,340	
		Sig. (2-seitig)		,000	

## Nachttest II

## Korrelationen

Faktor 1			BT Item 29	BT Item 35	Homogenität
Spearman-Rho	BT Item 26	Korrelationskoeffizient	,759	,438	0,54
		Sig. (2-seitig)	,000	,000	
	BT Item 29	Korrelationskoeffizient		,423	
		Sig. (2-seitig)		,000	

Faktor 2			BT Item 27	BT Item 24	Homogenität
Spearman-Rho	BT Item 28	Korrelationskoeffizient	,697	,411	0,51
		Sig. (2-seitig)	,000	,000	
	BT Item 27	Korrelationskoeffizient		,405	
		Sig. (2-seitig)		,000	

Faktor 3			BT Item 32	BT Item 30	Homogenität
Spearman-Rho	BT Item 33	Korrelationskoeffizient	,726	,458	0,54
		Sig. (2-seitig)	,000	,000	
	BT Item 32	Korrelationskoeffizient		,422	
		Sig. (2-seitig)		,000	

Damit ergeben sich eine als Homogenität (durchschnittliche Item-Interkorrelation, vgl. Bortz & Döring 1995, S. 200) Werte zwischen 0,44 und 0,55, also eine hohe Faktorenhomogenität.

**4. Reliabilität**

Vortest:

## Deskriptive Statistik

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz	Cronbachs Alpha (Zöfel 2002, S. 239)
VT Item 26	274	1	5	4,43	,730	,532	
VT Item 27	274	1	5	3,38	1,123	1,262	
VT Item 29	274	1	5	2,52	,992	,983	
VT Item 30	274	1	5	2,56	,952	,907	
VT Item 31	274	1	5	3,46	,894	,799	
VT Item 32	274	2	5	4,31	,753	,566	
VT Item 33	274	1	5	3,23	1,229	1,511	
VT Item 34	274	2	5	4,37	,736	,542	
VT Item 35	274	1	5	3,24	1,033	1,068	
VT Summe Interesse	274	25	60	42,14	5,808	33,732	0,85
VT Summe Interesse F 1	274	3	15	9,85	2,829	8,006	0,72
VT Summe Interesse F 2	274	3	15	8,54	2,352	5,531	0,77
VT Summe Interesse F 3	274	6	15	13,12	1,800	3,239	0,76

Die Reliabilität der gesamten Skala sowie der einzelnen Faktoren ist als gut zu beurteilen.

Nachtest:  
Deskriptive Statistik

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung	Varianz	Cronbachs Alpha (Zöfel 2002, S. 239)
NT Item 26	274	2	5	4,15	,720	,519	
NT Item 27	274	1	5	3,48	1,066	1,137	
NT Item 28	274	2	5	4,32	,695	,483	
NT Item 29	274	1	5	3,47	1,113	1,239	
NT Item 30	274	1	5	2,45	,968	,937	
NT Item 31	274	1	5	3,09	,972	,945	
NT Item 32	274	1	5	3,18	1,000	1,000	
NT Item 33	274	1	5	2,59	,987	,974	
NT Item 34	274	3	5	4,35	,659	,435	
NT Summe Interesse	274	27	56	41,31	5,253	27,598	0,81
NT Summe Interesse F 1	274	3	15	10,04	2,661	7,083	0,79
NT Summe Interesse F 2	274	3	15	8,23	2,415	5,833	0,76
NT Summe Interesse F 3	274	8	15	12,83	1,627	2,648	0,69

Die Reliabilität der gesamten Skala sowie der einzelnen Faktoren ist als gut zu beurteilen.

Nachtest II:

Deskriptive Statistik

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung	Varianz	Cronbachs Alpha (Zöfel 2002, S. 239)
NT II Item 24	274	1	5	3,05	,880	,774	
NT II Item 26	274	1	5	3,40	1,041	1,084	
NT II Item 27	274	1	5	2,67	,899	,807	
NT II Item 28	274	1	5	2,53	,915	,836	
NT II Item 29	274	1	5	3,38	1,107	1,225	
NT II Item 30	274	1	5	4,19	,722	,521	
NT II Item 32	274	2	5	4,32	,759	,576	
NT II Item 33	274	2	5	4,23	,796	,634	
NT II Item 35	274	1	5	3,06	,993	,986	
NT II Summe Interesse	274	27	60	41,15	5,215	27,193	0,84
NT II Summe Interesse F 1	274	3	15	9,84	2,629	6,912	0,78
NT II Summe Interesse F 2	274	3	15	8,25	2,220	4,927	0,76
NT II Summe Interesse F 3	274	6	15	12,74	1,905	3,629	0,78

Die Reliabilität der gesamten Skala sowie der einzelnen Faktoren ist als gut zu beurteilen.

**Anhang 54: Beispielhafte Ratekorrektur** (vgl. Bortz & Döring 1995, S. 197)

Deskriptive Statistik zu den nicht korrigierten und den ratekorrigierten Summenscores des vorhandenen (VT), des aktuellen (NT I) und des persistenten Wissens (NT II, jeweils gruppierte Mediane)

		externe Ko.-		Schul-		Labor-		Experimental-Gr.		Gesamt-Gr.	
N		36		83		72		146		363	
Ratekorrektur		-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
Grup- piertes Median	VT	5,89	3,17	3,15	1,67	4,63	2,67	5,66	3,67	4,88	2,94
	NT I	5,89	3,33	7,69	5,56	9,33	7,33	10,31	8,67	9,00	7,17
	NT II	5,38	2,83	6,25	4,25	6,92	4,33	7,85	5,86	6,87	4,67

Beispielhafter Vergleich:

Vergleich über die drei Messzeitpunkte: Friedman-Test:

	externe Ko.-	Schul-	Labor-	Experimental-Gr.	Gesamt
N	36	83	72	146	337
p-Werte für					
Unkorrigierte Werte	,509	,000	,000	,000	,000
Ratekorrigierte Werte	,171	,000	,000	,000	,000

Vergleich zwischen den Untersuchungsgruppen: Kruskal-Wallis-Test:

Statistik für Test

Vorhandenes Wissen	Unkorrigierter Score	Ratekorrigierter Score
Chi-Quadrat	40,627	22,799
df	3	3
Asymptotische Signifikanz	,000	,000

Weder beim Vergleich der Messzeitpunkte noch beim Vergleich der Gruppen zum gleichen Messzeitpunkt lassen sich Unterschiede feststellen. Daher wird auf eine Ratekorrektur verzichtet.

## Anhang 55: Anpassungstest nach Kolmogorov-Smirnov für die Score-Variablen der Subtests Akzeptanz, Wissenserwerb und Interesse

### 1. Subtest Akzeptanz

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		aktuelle Akzeptanz	affektive Bewertung	Bewertung instrumentelles Handeln	Rückblick. Akzeptanz	Rückblick. affektive Bewertung	Rückblick. instrumentelles Handeln
N		176	176	176	176	176	176
Parameter der Normalverteilung: Mittelwert		21,377	12,603	8,774	20,532	12,242	8,290
Standardabweichung		1,7962	1,0612	1,1986	2,1144	1,2990	1,3496
Extremste Differenzen	Absolut	,093	,196	,128	,101	,159	,176
	Positiv	,047	,151	,083	,046	,131	,108
	Negativ	-,093	-,196	-,128	-,101	-,159	-,176
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,240	2,600	1,694	1,345	2,111	2,336
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,092	,000	,006	,054	,000	,000

### 2. Subtest Wissenserwerb

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Vorhandenes Wissen	Aktuelles Wissen	Persistentes Wissen	Wissenszuwachs	Behaltensleistung	Vergessensmaß	Wissenszuwachs Transfer	Behaltensleistung Transfer	Vergessensmaß Transfer	Aktueller Lernerfolg	Persistenter Lernerfolg
N		337	337	337	337	337	337	337	337	337	337	337
Parameter der Normalverteilung: Mittelwert		5,05	8,80	6,98	3,75	1,93	1,82	,74	,38	,36	2,507	1,226
Standardabweichung		2,554	3,298	3,087	3,155	3,051	2,679	1,442	1,354	1,297	2,3197	1,7695
Extremste Differenzen	Absolut	,102	,104	,088	,085	,080	,089	,164	,148	,154	,104	,128
	Positiv	,102	,087	,088	,051	,080	,083	,164	,145	,154	,104	,128
	Negativ	-,071	-,104	-,059	-,085	-,074	-,089	-,153	-,148	-,144	-,059	-,080



N		198	198	198	198	198	198	198
Parameter der Normalverteilung: Mittelwert		24,237	7,420	6,737	10,079	-,457	,728	-1,185
Standardabweichung		3,5926	1,6502	1,8166	1,5092	3,0045	3,3545	3,9060
Extremste Differenzen	Absolut	,039	,077	,116	,130	,060	,062	,050
	Positiv	,039	,067	,116	,120	,022	,051	,050
	Negativ	-,024	-,077	-,064	-,130	-,060	-,062	-,036
Kolmogorov-Smirnov-Z		,553	1,090	1,636	1,826	,845	,873	,701
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,919	,185	,009	,003	,473	,431	,709

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Interesse- änderung F 1 VT NT I	Interesse- änderung F 1 NT NT II	Interesse- änderung F 1 VT NT II	Interesse- änderung F 3 VT NT I	Interesse- änderung F 3 NT NT II	Interesse- änderung F 3 VT NT II
N		198	198	198	198	198	198
Parameter der Normalverteilung: Mittelwert		,191	,801	,610	-,318	,033	,351
Standardabweichung		1,8055	1,8387	2,1075	1,1853	1,3634	1,4597
Extremste Differenzen	Absolut	,089	,074	,085	,108	,141	,115
	Positiv	,078	,051	,046	,091	,141	,115
	Negativ	-,089	-,074	-,085	-,108	-,101	-,107
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,256	1,043	1,199	1,516	1,985	1,621
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,085	,227	,113	,020	,001	,010

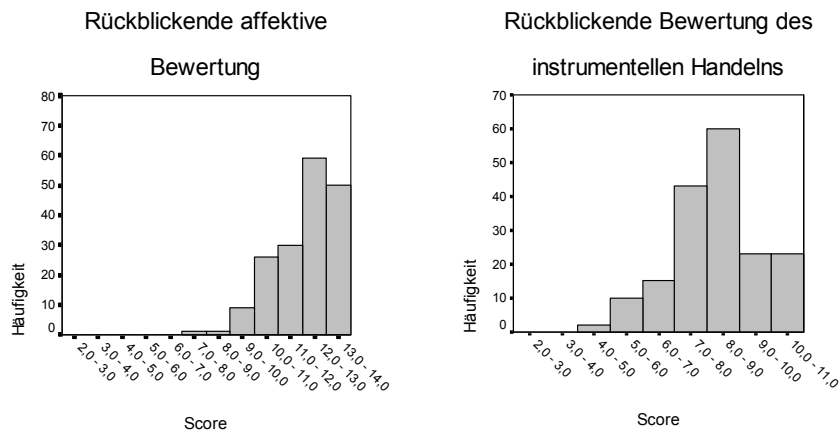
**Anhang 56: Ergebnisse zur Akzeptanz der Unterrichtsveranstaltung in der Gesamtgruppe**  
**1. Vergleich aktuelle vs. rückblickende Akzeptanz**

Wilcoxon-Test:

Statistik für Test (N = 176)

	rückblickende Akzeptanz - aktuelle Akzeptanz
Z	-6,251
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000

**2. Antworttendenzen der beiden Akzeptanzfaktoren bei der rückblickenden Akzeptanz (NT II)**



Antworttendenzen der beiden Akzeptanzfaktoren bei der rückblickenden Akzeptanz (NT II, dargestellt ist der Bereich zwischen dem Minimal- und dem Maximalwert)

Auch bei der rückblickenden Akzeptanz ist der Deckeneffekt beim Faktor affektive Bewertung stärker ausgeprägt als beim Faktor Bewertung des instrumentellen Handelns

**3. Vergleich der beiden Akzeptanzfaktoren zu den beiden Messzeitpunkten**

Wilcoxon-Test:

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 176)

	Rückblick. affektive	Rückblick. Bewertung des instrumentellen
--	----------------------	--



	Bewertung - affektive Bewertung	Handeln – Bewertung des instrumentellen Handelns
Z	-3,994	-5,334
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000

**4. Geschlechtsspezifische Unterschiede in der Gesamtgruppe**

Statistik für Test (Gesamt jeweils NT I N = 180, NT II N = 176)

	aktuelle Akzeptanz	affektive Bewertung	Bewertung des instrumentellen Handelns	rückblick. Akzeptanz	rückblick. affektive Bewertung	rückblick. Bewertung des instrumentellen Handelns
Mann-Whitney-U	2760,500	2470,500	2873,500	2843,000	2708,500	2721,000
Z	-,771	-1,777	-,398	-,057	-,526	-,484
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,441	,076	,691	,955	,599	,629

**5. Schulzweigspezifische Unterschiede in der Gesamtgruppe**

Aufgrund der unterschiedlichen Wertung der Naturwissenschaften wird der mathematisch-naturwissenschaftliche Zweig den anderen Schulzweigen gegenübergestellt (nur dort verpflichtende Schülerübungen in Chemie und Physik)

Statistik für Test (Gesamt jeweils NT I N = 178, NT II N = 174)

	aktuelle Akzeptanz	affektive Bewertung	Bewertung des instrumentellen Handelns	Rückblick. Akzeptanz	Rückblick. affektive Bewertung	rückblick. Bewertung des instrumentellen Handelns
Mann-Whitney-U	3409,500	3497,500	3395,000	3339,500	3095,500	3359,500
Z	-,723	-,467	-,773	-,417	-1,197	-,358
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,469	,640	,440	,677	,231	,720

**6. Zusammenhänge zwischen den Akzeptanzscores und der Experimentiererfahrung**

Die unterrichtlichen und die eigenen Experimentiererfahrungen werden als Summenscores aus den Erfahrungen in den drei Fächern Biologie, Chemie und Physik berechnet.

Die Überprüfung der einzelnen Untersuchungsgruppen ergibt keine signifikanten Unterschiede in der unterrichtlichen, jedoch signifikante Unterschiede in der eigenen Experimentiererfahrung. Daher lässt sich nur die erstere auf der Ebene der Unterrichtsgruppen auswerten.

Kruskal-Wallis-Test: Statistik für Test

	Summe Experimentiererfahrung Unterricht	Summe eigene Experimentiererfahrung
N gesamt	166	171
Chi-Quadrat	2,983	17,248
df	2	2
Asymptotische Signifikanz	,225	,000

**Korrelationen**

	Spearman-Rho	aktuelle Akzeptanz	affektive Bewertung	Bewertung des instrumentellen Handelns	rückblick. Akzeptanz	rückblick. affektive Bewertung	rückblick. Bewertung des instrumentellen Handelns
Experimentiererfahrung im Unterricht	Korrelationskoeffizient	,030	,111	-,051	,070	,079	,033
	Sig. (2-seitig)	,696	,150	,513	,372	,315	,675
	N	170	170	170	166	166	166
Summe eigene Experimentiererfahrung	Korrelationskoeffizient	,190	,153	,159	,229	,174	,187
	Sig. (2-seitig)	,012	,043	,036	,003	,023	,014
	N	175	175	175	171	171	171

**7. Zusammenhänge zwischen den Akzeptanzscores und den vorherigen schulischen Leistungen**

**Korrelationen**

Spearman-Rho	aktuelle	affektive	Bewertung	rückblick.	rückblick.	rückblick.
--------------	----------	-----------	-----------	------------	------------	------------

		Akzeptanz	Bewertung	des instrumentellen Handelns	Akzeptanz	affektive Bewertung	Bewertung des instrumentellen Handelns
schulische Leistung (schriftlich)	Korrelationskoeffizient	,154	,123	,115	,090	,091	,069
	Sig. (2-seitig)	,044	,109	,132	,245	,238	,371
	N	172	172	172	168	168	168

## Anhang 57: Vergleich der Akzeptanz der Unterrichtsveranstaltung in den einzelnen Unterrichtsgruppen

### 1. Vergleich über alle Gruppen: Kruskal-Wallis-Test

Ränge

Statistik für Test (Gesamt jeweils NT I N = 180, NT II N = 176)

	aktuelle Akzeptanz	affektive Bewertung	Bewertung des instrumentellen Handelns	Rückblick. Akzeptanz	Rückblick. affektive Bewertung	Rückblick. Bewertung des instrumentellen Handelns
Chi-Quadrat	34,439	38,536	10,519	20,618	29,018	6,459
df	2	2	2	2	2	2
Asymptotische Signifikanz	,000	,000	,005	,000	,000	,040

### 2. Paarweise Vergleiche: Mann-Whitney-Tests

#### 2.1 Schul- vs. Labor-Gruppe

Statistik für Test (Gesamt jeweils NT I N = 92, NT II N = 89)

	aktuelle Akzeptanz	affektive Bewertung	Bewertung des instrumentellen Handelns	Rückblick. Akzeptanz	Rückblick. affektive Bewertung	Rückblick. Bewertung des instrumentellen Handelns
Mann-Whitney-U	1037,500	990,000	1010,000	720,000	744,000	832,500
Z	-,145	-,520	-,364	-2,196	-2,006	-1,290
Asympt. Signifikanz (2-seitig)	,885	,603	,716	,028	,045	,197

#### 2.2 Schul- vs. Experimental-Gr.

Statistik für Test (Gesamt jeweils NT I N = 132, NT II N = 129)

	aktuelle Akzeptanz	affektive Bewertung	Bewertung des instrumentellen Handelns	Rückblick. Akzeptanz	Rückblick. affektive Bewertung	Rückblick. Bewertung des instrumentellen Handelns
Mann-Whitney-U	922,000	950,500	1371,500	1345,000	1242,500	1595,000
Z	-4,899	-4,946	-2,750	-2,425	-3,008	-1,186
Asympt. Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,006	,015	,003	,236

#### 2.3. Labor- vs. Experimental-Gr.

Statistik für Test (Gesamt jeweils NT I N = 136, NT II N = 134)

	aktuelle Akzeptanz	affektive Bewertung	Bewertung des instrumentellen Handelns	Rückblick. Akzeptanz	Rückblick. affektive Bewertung	Rückblick. Bewertung des instrumentellen Handelns
Mann-Whitney-U	1078,000	982,000	1557,000	1127,000	946,000	1525,000
Z	-4,713	-5,339	-2,544	-4,280	-5,199	-2,451
Asympt. Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,011	,000	,000	,014

### 3. Vergleich der Gesamtakzeptanz und der beiden Akzeptanzfaktoren zu den zwei Messzeitpunkten: Wilcoxon-Tests

#### 3.1 Schul-Gr.

Statistik für Test (Gesamt N = 42)

	Rückblick. Akzeptanz - aktuelle Akzeptanz	Rückblick. affektive Bewertung - affektive Bewertung	Rückblick. Bewertung des instrumentellen Handelns - Bewertung des instrumentellen Handelns

Z	-,773	-,329	-1,040
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,439	,742	,298

**3.2 Labor-Gruppe**

Statistik für Test (Gesamt N = 47)

	Rückblick. Akzeptanz - aktuelle Akzeptanz	Rückblick. affektive Bewertung - affektive Bewertung	Rückblick. Bewertung des instrumentellen Handelns – Bewertung des instrumentellen Handelns
Z	-4,149	-2,775	-3,213
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,006	,001

**3.3. Experimental-Gruppe**

Statistik für Test (Gesamt N = 87)

	Rückblick. Akzeptanz - aktuelle Akzeptanz	Rückblick. affektive Bewertung - affektive Bewertung	Rückblick. Bewertung des instrumentellen Handelns – Bewertung des instrumentellen Handelns
Z	-5,170	-3,419	-4,524
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,001	,000

**4. Zusammenhang der aktuellen Akzeptanz mit der eigenen Experimentiererfahrung**

Korrelationen

Gruppe	Spearman-Rho	
Schul-	Korrelationskoeffizient	,324
	Sig. (2-seitig)	,034
	N	43
Labor-	Korrelationskoeffizient	,236
	Sig. (2-seitig)	,119
	N	46
Experimental-Gr.	Korrelationskoeffizient	-,006
	Sig. (2-seitig)	,968
	N	87

**5. Zusammenhang der aktuellen Akzeptanz mit den vorherigen schulischen Leistungen**

Korrelationen

Gruppe	Spearman-Rho	
Schul-	Korrelationskoeffizient	,362
	Sig. (2-seitig)	,016
	N	44
Labor-	Korrelationskoeffizient	,186
	Sig. (2-seitig)	,215
	N	46
Experimental-Gr.	Korrelationskoeffizient	,078
	Sig. (2-seitig)	,489
	N	82

**Anhang 58: Ergebnisse zu den Items mit Reihenantworten**

**1. Kategorien zum Item „Was hat Ihnen bei der Veranstaltung heute am besten gefallen?“, deren Verteilung zu beiden Messzeitpunkten nicht von der erwarteten Verteilung abweicht (0 nicht vorhanden, 1 vorhanden, zur Kategorisierung vgl. Anh. 42)**

Kategorie keine Angabe: Kreuztabelle

Messzeit- punkt			NT I		NT II		
			0	1	0	1	Gesamt
Gruppen	Schul-	Anzahl	41	3	40	4	44
		Erwartete Anzahl	43,0	1,0	42,0	2,0	44,0
	Labor-	Anzahl	48	0	45	3	48
		Erwartete Anzahl	46,9	1,1	45,9	2,1	48,0
	Experimental-Gr.	Anzahl	87	1	87	1	88
		Erwartete Anzahl	86,0	2,0	84,1	3,9	88,0
Gesamt		Anzahl	176	4	172	8	180
		Erwartete Anzahl	176,0	4,0	172,0	8,0	180,0

## Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Nachtest I	4,226	,094
Nachtest II	5,157	,055
Anzahl der gültigen Fälle	180	

## Kategorie ethischer Bezug: Kreuztabelle

Messzeitpunkt			NT I		NT II		Gesamt
			0	1	0	1	
Gruppen	Schul-	Anzahl	37	7	41	3	44
		Erwartete Anzahl	39,4	4,6	42,8	1,2	44,0
	Labor-	Anzahl	42	6	48	0	48
		Erwartete Anzahl	42,9	5,1	46,7	1,3	48,0
	Experimental-Gr.	Anzahl	82	6	86	2	88
		Erwartete Anzahl	78,7	9,3	85,6	2,4	88,0
Gesamt		Anzahl	161	19	175	5	180
		Erwartete Anzahl	161,0	19,0	175,0	5,0	180,0

## Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Nachtest I	2,999	,223
Nachtest II	3,368	,113
Anzahl der gültigen Fälle	180	

## Kategorie Schülerbezug: Kreuztabelle

Messzeitpunkt			NT I		NT II		Gesamt
			0	1	0	1	
Gruppen	Schul-	Anzahl	43	1	42	2	44
		Erwartete Anzahl	42,0	2,0	42,5	1,5	44,0
	Labor-	Anzahl	46	2	47	1	48
		Erwartete Anzahl	45,9	2,1	46,4	1,6	48,0
	Experimental-Gr.	Anzahl	83	5	85	3	88
		Erwartete Anzahl	84,1	3,9	85,1	2,9	88,0
Gesamt		Anzahl	172	8	174	6	180
		Erwartete Anzahl	172,0	8,0	174,0	6,0	180,0

## Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Nachtest I	,673	,893
Nachtest II	,585	,871
Anzahl der gültigen Fälle	180	

## Kategorie Gesamtbezug: Kreuztabelle

Messzeitpunkt			NT I		NT II		Gesamt
			0	1	0	1	
Gruppen	Schul-	Anzahl	44	0	44	0	44
		Erwartete Anzahl	42,5	1,5	42,8	1,2	44,0
	Labor-	Anzahl	45	3	46	2	48
		Erwartete Anzahl	46,4	1,6	46,7	1,3	48,0
	Experimental-Gr.	Anzahl	85	3	85	3	88
		Erwartete Anzahl	85,1	2,9	85,6	2,4	88,0
Gesamt		Anzahl	174	6	175	5	180
		Erwartete Anzahl	174,0	6,0	175,0	5,0	180,0

## Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Nachtest I	2,515	,318
Nachtest II	1,582	,600
Anzahl der gültigen Fälle	180	

**2. Kategorien zum Item „Was hat Ihnen bei der Veranstaltung heute am besten gefallen?“, deren Verteilung nur zum ersten Messzeitpunkt nicht von der erwarteten Verteilung abweicht (0 nicht vorhanden, 1 vorhanden, zur Kategorisierung vgl. Anh. 42)**

## Kategorie Lernortbezug: Kreuztabelle

Messzeitpunkt			NT I		NT II		Gesamt
---------------	--	--	------	--	-------	--	--------

			0	1	0	1	
Gruppen	Schul-	Anzahl	44	0	44	0	44
		Erwartete Anzahl	42,8	1,2	42,0	2,0	44,0
	Labor-	Anzahl	48	0	48	0	48
		Erwartete Anzahl	46,7	1,3	45,9	2,1	48,0
	Experimental-Gr.	Anzahl	83	5	80	8	88
		Erwartete Anzahl	85,6	2,4	84,1	3,9	88,0
Gesamt		Anzahl	175	5	172	8	180
		Erwartete Anzahl	175,0	5,0	172,0	8,0	180,0

Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Nachtest I	3,883	,079
Nachtest II	7,492	,014
Anzahl der gültigen Fälle	180	

**3. Kategorien zum Item „Was hat Ihnen bei der Veranstaltung heute am besten gefallen?“, deren Verteilung zu beiden Messzeitpunkten von der erwarteten Verteilung abweicht (0 nicht vorhanden, 1 vorhanden, zur Kategorisierung vgl. Anh. 42)**

**3.1 Vergleich der Unterrichtsgruppen**

Kategorie Fachlicher Bezug: Kreuztabelle

Messzeitpunkt			NT I		NT II		Gesamt
			0	1	0	1	
Gruppen	Schul-	Anzahl	24	20	23	21	44
		Erwartete Anzahl	28,1	15,9	28,6	15,4	44,0
	Labor-	Anzahl	21	27	19	29	48
		Erwartete Anzahl	30,7	17,3	31,2	16,8	48,0
	Experimental-Gr.	Anzahl	70	18	75	13	88
		Erwartete Anzahl	56,2	31,8	57,2	30,8	88,0
Gesamt		Anzahl	115	65	117	63	180
		Erwartete Anzahl	115,0	65,0	117,0	63,0	180,0

Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Nachtest I	19,684	,000
Nachtest II	33,615	,000
Anzahl der gültigen Fälle	180	

Kategorie Exemplarische Beispiele: Kreuztabelle

			NT I		NT II		Gesamt
			0	1	0	1	
Gruppen	Schul-	Anzahl	30	14	26	18	44
		Erwartete Anzahl	35,0	9,0	30,8	13,2	44,0
	Labor-	Anzahl	34	14	23	25	48
		Erwartete Anzahl	38,1	9,9	33,6	14,4	48,0
	Experimental-Gr.	Anzahl	79	9	77	11	88
		Erwartete Anzahl	69,9	18,1	61,6	26,4	88,0
Gesamt		Anzahl	143	37	126	54	180
		Erwartete Anzahl	143,0	37,0	126,0	54,0	180,0

Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Nachtest I	11,786	,002
Nachtest II	27,302	,000
Anzahl der gültigen Fälle	180	

Kategorie Methodischer Bezug: Kreuztabelle

Messzeitpunkt			NT I		NT II		Gesamt
			0	1	0	1	
Gruppen	Schul-	Anzahl	16	28	13	31	44
		Erwartete Anzahl	26,9	17,1	27,4	16,6	44,0
	Labor-	Anzahl	24	24	27	21	48
		Erwartete Anzahl	29,3	18,7	29,9	18,1	48,0
	Experimental-	Anzahl	70	18	72	16	88

	Gr.						
		Erwartete Anzahl	53,8	34,2	54,8	33,2	88,0
Gesamt		Anzahl	110	70	112	68	180
		Erwartete Anzahl	110,0	70,0	112,0	68,0	180,0

## Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Nachtest I	26,851	,000
Nachtest II	35,516	,000
Anzahl der gültigen Fälle	180	

## Kategorie Lehrer-Bezug: Kreuztabelle

Messzeitpunkt			NT I		NT II		Gesamt
			0	1	0	1	
Gruppen	Schule	Anzahl	33	11	35	9	44
		Erwartete Anzahl	35,0	9,0	35,2	8,8	44,0
	Labor	Anzahl	31	17	30	18	48
		Erwartete Anzahl	38,1	9,9	38,4	9,6	48,0
	Experimental-Gr.	Anzahl	79	9	79	9	88
		Erwartete Anzahl	69,9	18,1	70,4	17,6	88,0
Gesamt		Anzahl	143	37	144	36	180
		Erwartete Anzahl	143,0	37,0	144,0	36,0	180,0

## Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Nachtest I	12,852	,002
Nachtest II	13,850	,001
Anzahl der gültigen Fälle	180	

## Kategorie Experimental-Bezug: Kreuztabelle

Messzeitpunkt			NT I		NT II		Gesamt
			0	1			
Gruppen	Schule	Anzahl	44	0	44	0	44
		Erwartete Anzahl	23,5	20,5	24,2	19,8	44,0
	Labor	Anzahl	48	0	48	0	48
		Erwartete Anzahl	25,6	22,4	26,4	21,6	48,0
	Experimental-Gr.	Anzahl	4	84	7	81	88
		Erwartete Anzahl	46,9	41,1	48,4	39,6	88,0
Gesamt		Anzahl	96	84	99	81	180
		Erwartete Anzahl	96,0	84,0	44	0	180,0

## Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Nachtest I	205,931	,000
Nachtest II	189,127	,000
Anzahl der gültigen Fälle	180	

**3.2 Veränderungen zwischen den beiden Messzeitpunkten: McNemar-Tests**

## Schul-Gruppe

## Statistik für Test

	NT fachlicher Bezug & NT II fachlicher Bezug	NT methodischer Bezug & NT II methodischer Bezug	NT Lehrer-Bezug & NT II Lehrer-Bezug
N	44	44	44
Exakte Signifikanz (2-seitig)	1,000	,549	,815

## Labor-Gruppe

## Statistik für Test

	NT fachlich-inhaltlicher Bezug & NT II fachlich-inhaltlicher Bezug	NT methodischer Bezug & NT II methodischer Bezug	NT Lehrer-Bezug & NT II Lehrer-Bezug
N	48	48	48
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,815	,607	1,000

## Experimental-Gruppe

## Statistik für Test

	NT fachlicher Bezug & NT II fachlich-	NT methodischer Bezug & NT II	NT Lehrer-Bezug & NT II Lehrer-Bezug	NT Experimentalbezug &
--	---------------------------------------	-------------------------------	--------------------------------------	------------------------

	inhaltlicher Bezug	methodischer Bezug		NT II Experimentalbezug ganz
N	88	88	88	88
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,302	,804	1,000	,549

**4. Paarweise Vergleiche zu den Kategorien zum Item „Was hat Ihnen bei der Veranstaltung heute am besten gefallen?“, deren Verteilung zu beiden Messzeitpunkten von der erwarteten Verteilung abweicht (0 nicht vorhanden, 1 vorhanden, zur Kategorisierung vgl. Anh. 42)**

Vergleich der beiden nicht experimentellen Kontrollgruppen

Kreuztabelle

Nachtst I			fachlicher Bezug		metho-discher Bezug		Lehrer- Bezug		Gesamt
			0	1	0	1	0	1	
Gruppen	Schul-	Anzahl	24	20	16	28	33	11	44
		Erwartete Anzahl	21,5	22,5	19,1	24,9	30,6	13,4	44,0
	Labor-Gr.	Anzahl	21	27	24	24	31	17	48
		Erwartete Anzahl	23,5	24,5	20,9	27,1	33,4	14,6	48,0
Gesamt		Anzahl	45	47	40	52	64	28	92
		Erwartete Anzahl	45,0	47,0	40,0	52,0	64,0	28,0	92,0

Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Fachlicher Bezug		,404
methodischer Bezug		,212
Lehrer- Bezug		,365
Anzahl der gültigen Fälle	92	

Vergleich Kreuztabelle

Nachtst II			methodischer Bezug		Lehrer-Bezug		Gesamt
			0	1			
Gruppen	Schul-	Anzahl	13	31			
		Erwartete Anzahl	19,1	24,9			
	Labor-	Anzahl	27	21	18	29	48
		Erwartete Anzahl	20,9	27,1	33,2	14,8	48,0
	Experimental-Gr.	Anzahl			75	13	88
		Erwartete Anzahl			60,8	24,2	88,0
Gesamt		Anzahl	40	52	94	42	92/ 136
		Erwartete Anzahl	40,0	52,0	94,0	42,0	92,0/136,0

Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
methodischer Bezug		,012
Lehrer- Bezug		,000
Anzahl der gültigen Fälle	92 / 136	

**5. Kategorien zum Item „Was hat Ihnen bei der Veranstaltung heute/damals am wenigsten gefallen?“, deren Verteilung zu beiden Messzeitpunkten von der erwarteten Verteilung abweicht (0 nicht vorhanden, 1 vorhanden, zur Kategorisierung vgl. Anh. 42)**

Fachlicher Bezug Kreuztabelle

Messzeitpunkt			NT I		NT II		Gesamt
			0	1	0	1	
Gruppen	Schul-	Anzahl	38	6	36	8	44
		Erwartete Anzahl	37,9	6,1	36,2	7,8	44,0
	Labor-	Anzahl	33	15	29	19	48
		Erwartete Anzahl	41,3	6,7	39,5	8,5	48,0
	Experimental-Gr.	Anzahl	84	4	83	5	88
		Erwartete Anzahl	75,8	12,2	72,4	15,6	88,0
Gesamt		Anzahl	155	25	148	32	180
		Erwartete Anzahl	155,0	25,0	148,0	32,0	180,0

Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
--------------------------	------	-------------------------------

Nachtest I	17,472	,000
Nachtest II	23,493	,000
Anzahl der gültigen Fälle	180	

## Kategorien

## spezielle Eigenschaften Lerninhalte Kreuztabelle

		NT I		NT II		Gesamt	
		0	1	0	1		
Gruppen	Schul-	Anzahl	43	1	41	3	44
		Erwartete Anzahl	41,6	2,4	38,9	5,1	44,0
	Labor-	Anzahl	41	7	34	14	48
		Erwartete Anzahl	45,3	2,7	42,4	5,6	48,0
	Experimental-Gr.	Anzahl	86	2	84	4	88
		Erwartete Anzahl	83,1	4,9	77,7	10,3	88,0
Gesamt		Anzahl	170	10	159	21	180
		Erwartete Anzahl	170,0	10,0	159,0	21,0	180,0

## Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Nachtest I	8,123	,009
Nachtest II	16,735	,000
Anzahl der gültigen Fälle	180	

## einzelne Lerninhalte Kreuztabelle

		NT I		NT II		Gesamt	
		0	1	0	1		
Gruppen	Schul-	Anzahl	39	5	42	2	44
		Erwartete Anzahl	41,3	2,7	42,0	2,0	44,0
	Labor-	Anzahl	43	5	42	6	48
		Erwartete Anzahl	45,1	2,9	45,9	2,1	48,0
	Experimental-Gr.	Anzahl	87	1	88	0	88
		Erwartete Anzahl	82,6	5,4	84,1	3,9	88,0
Gesamt		Anzahl	169	11	172	8	180
		Erwartete Anzahl	169,0	11,0	172,0	8,0	180,0

## Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Nachtest I	8,260	,008
Nachtest II	10,915	,002
Anzahl der gültigen Fälle	180	

## 6. Paarweise Vergleiche zu den Kategorien zum Item „Was hat Ihnen bei der Veranstaltung heute am wenigsten gefallen?“, deren Verteilung zu beiden Messzeitpunkten von der erwarteten Verteilung abweicht (0 nicht vorhanden, 1 vorhanden, zur Kategorisierung vgl. Anh. 42)

### 6.1 Vergleich der Unterrichtsgruppen

## Kreuztabelle

Nachtest I			Fachlicher Bezug						Gesamt
			0	1	0	1	0	1	
Gruppen	Schul-	Anzahl	38	6	38	6			44
		Erwartete Anzahl	34,0	10,0	40,7	3,3			44,0
	Labor-	Anzahl	33	15			33	15	48
		Erwartete Anzahl	37,0	11,0			41,3	6,7	48,0
	Experimental-Gr.	Anzahl			84	4	84	4	88
		Erwartete Anzahl			81,3	6,7	75,7	12,3	88,0
Gesamt		Anzahl	71	21	122	10	117	19	92 / 132 / 136
		Erwartete Anzahl	71,0	21,0	122,0	10,0	117,0	19,0	92,0 / 132,0 / 136,0

## Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Anzahl der gültigen Fälle	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Schul- vs. Labor-Gr.	92	,051
Schul- vs. Experimental-Gr.	132	,083
Labor- vs. Experimental-Gr.	136	,000

Nachtest II			Fachlicher Bezug						Gesamt
			0	1	0	1	0	1	



Gruppen	Schul-	Anzahl	36	8	36	8			44
		Erwartete Anzahl	31,1	12,9	39,7	4,3			44,0
	Labor-	Anzahl	29	19			29	19	48
		Erwartete Anzahl	33,9	14,1			39,5	8,5	48,0
	Experimental-Gr.	Anzahl			83	5	83	5	88
		Erwartete Anzahl			79,3	8,7	72,5	15,5	88,0
Gesamt		Anzahl	65	27	119	13	112	24	92 / 132 / 136
		Erwartete Anzahl	65,0	27,0	119,0	13,0	112,0	24,0	92,0 / 132,0 / 136,0

Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Anzahl der gültigen Fälle	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Schul- vs. Labor-Gr.	92	,038
Schul- vs. Experimental-Gr.	132	,031
Labor- vs. Experimental-Gr.	136	,000

**6.2 Veränderungen zwischen den beiden Messzeitpunkten: McNemar-Tests**

Statistik für Test

	NT fachlicher Bezug & NT II fachlicher Bezug
Schul-Gruppe	
N	44
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,754
Labor-Gruppe	
N	48
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,424
Experimental-Gr.	
N	88
Exakte Signifikanz (2-seitig)	1,000

**Anhang 59: Veröffentlichung Scharfenberg et al. (eingereicht)**

Submitted in: Journal of Research in Science Teaching

**The suitability of control-groups for empirical control purposes: a cautionary story in science education research**

F.-J. Scharfenberg, F. X. Bogner & S. Klautke

University of Bayreuth, Centre of Math & Science Education (Z-MNU)

Institute of Biology Didactics, Universitätsstrasse 30, D-95445 Bayreuth, GERMANY

**Keywords:** pre-test effect, control-group design, social desirability, hands-on experiments, science education, secondary school

**Abstract**

This present paper arose from an evaluation project within an out-of-school molecular biology education unit. Altogether, we surveyed 363 12<sup>th</sup> graders of secondary schools (A-level, highest stratification [Gymnasium]) participating in a specific module entitled “marker genes in bacteria”. In a quasi-experimental design three different instructional approaches were presented: one was a hands-on experimental approach in the lab [N = 146] and two were non-experimental approaches either at the lab [N = 72] or at school [N = 83], all three covering identical themes. A pre-test, a post-test and a retention test (six weeks later) were applied to assess the relevant knowledge of the lesson unit. An additional external control group without any intervention (N = 62) was added, which provided the specific sample of the present study.

The data analysis revealed an unexpected control result that within the testing schedule achievement scores increased significantly despite the lack of any intervention. Subsequent analysis separated out two existing sub-samples, one with no changes at all within the survey schedule (as it is generally expected in control designs), the other with rising scores from survey to survey. A likely reason for the latter may be the character of the teacher(s) involved who might have avoided potential negative results by teaching his/her pupils secretly. Such a potential bias influences the suitability of control-groups dramatically. Consequently, we propose an additional analysis method in control group design in order to prevent such a hint of intervention in future empirical analyses.

**Introduction**

A typical element of empirical analyses within science education consists of the desire to control as many different variables as possible in various survey situations (Keeves 1998 [p. 1133]). During the past decades this multifaceted problem was the major key element of many studies which were especially focussing on the identification and assessment of selected factors (Keeves 1998, [p. 1142]). For instance, major surveys within this context focused on monitoring the effectiveness of laboratory work (Hofstein & Lunetta 2004 [p. 28]). The potential for using experiments in classrooms to facilitate improved learning in science education has not yet been realized (Roth 1994, [p. 197]). Very recent studies such as TIMSS (International Association for the Evaluation of Educational Achievement; Beaton *et al.* 1996) and PISA (Programme for International Student Assessment; Baumert *et al.* 2001) pointed to a specific need for improvements within the field of science teaching, too. A major reason for this deficiency is particularly seen in latent deficits in pupils’ understanding of scientific concepts (Baumert *et al.* 1997 [p.41]), especially regarding to insufficient hands-on activities at school (Tiberghien *et al.* 1998 [p. 5]). However, educational demonstration laboratories, e.g. at universities, provide authentic and practical experiences without the typical classroom shortcomings such as, for instance, the limitations of time takes and environment (Euler 2001 [p.17]). Consequently, out-of-school labs offer a didactical surplus for a learning success in real school life. This is especially an argument for providing actual science teaching approaches with regard to authentic environments (Prenzel *et al.* 2001 [p. 244]). In consequence, especially in the context of molecular biology many out-of-school opportunities have emerged in the last years (Maxton-Küchenmeister & Herrmann 2003).

Typically, participation in an experimental workshop during a visit is offered to classes. The specific biotechnology lab in this study provides one such selected theme with a series of experimental modules. During a day-long teaching unit the experiments support by their examples the existing syllabus. The specific module “marker genes in bacteria” consisted of a sequence of experiments: (i) transformation of bacteria with a recombinant plasmid coding for the green fluorescent protein GFP (Tsien 1998) commonly used as marker protein in molecular biology (Tromans 2004 [p. 865]); (ii) isolation and restriction analysis of the plasmid and (iii) visualization of the results by agarose gel electrophoresis. All experiments followed a specific “teaching and learning” strategy focussing particularly on the individual pupils “understanding” (Perkins & Unger 1999) through their developing hypotheses before starting any hands-on activities and where pupils have to verify/falsify their hypotheses to assess experimental progress (Klautke 2003).

The rationale for our study was an empirical-based comparison of at least three different instructional approaches with regard to cognitive learning effects. All three approaches focussed on an improvement in pupil’s knowledge in molecular biology either by upgrading existing prior knowledge or by attaining new knowledge. One method of instruction consisted of a hands-on approach which integrated experiments into a lesson at the lab. The two other approaches covered the very same themes but without any hands-on experiment (either at the lab or at school). However, the identical contents of our experiments were theoretically taught in a problem-oriented learning task (Reigeluth & Moore 1999 [p. 60]). Additionally we integrated a control group in order to counter any potential pre-test or repeated test bias in the context of a memory carry-over (McNemar 1963 [p.149]). The specific objective of this present study covers the suitability of the control groups involved by analyzing their results.

## Methods

We selected 12<sup>th</sup> graders (N = 363) of secondary Southern German schools at the highest stratification level (“Gymnasium”). Altogether, 29 biology A-level courses (“Leistungskurs”) were included (average age 18).

The study consisted of a quasi-experimental design (Cook & Campell 1979 [p. 95]) providing one experimental and two control groups without any experiments. An additional external control group without any intervention was also included (Figure 1).

Learning environment	laboratory		classroom	
Group name	experimental group	lab group (control I)	school group (control II)	external group (control III)
Pre-test	T-1	T-1	T-1	T-1
Intervention	<i>experimental hands-on module</i>	<i>theoretical non-experimental module</i>	<i>theoretical non-experimental module</i>	<i>no formal theoretical or practical teaching</i>
Post-test	T-2	T-2	T-2	T-2
Retention test interval	six weeks	six weeks	six weeks	six weeks
Retention test	T-3	T-3	T-3	T-3

Figure 1: Design of the study

The experimental group (N = 146) was taught at the educational laboratory with a special focus on experiments. The first control group (N = 72) was instructed on the same themes at the lab site but without including any hands-on experiments. The second one (N = 83) was taught identically at school, again without experimental activities. Acknowledging the difficulty of excluding the potential bias due to the teacher itself, all lessons were given by the identical teacher who was unknown to all courses (the results of these groups will be published elsewhere). The third control group (N = 62) got no instruction at all in order to survey potential pre-test effects or other external influences (Keeves 1998 [p. 1147]; Hofstein & Lunetta 1982 [p. 204]). Before participation, all 12<sup>th</sup> graders had passed a half-year genetic A-level course at school. Our surveys were applied three times, in a pre-test (T-1) one week before participating, in a post-test (T-2) immediately after the intervention and in a retention test (T-3) six weeks later. Each questionnaire consisted of 15 multiple-choice tasks and one open question (Table 1).

Item		item difficulty (% of correct answers, Bortz & Döring 1995 [p. 199])
1	A plasmid for heterologous gene expression has to be constructed. Transformed bacteria will express the heterologous gene, if the following DNA segments are arranged in this way: a) antibiotic resistance gene → inserted gene → origin of replication. b) origin of replication → inserted gene → bacterial promotor sequence. c) bacterial promotor sequence → inserted gene → antibiotic resistance gene [true]. d) inserted gene → origin of replication → bacterial promotor sequence.	30,1
2	If an operon is positively controlled the “switching molecule” starts a) translation of DNA. b) translation of m RNA. c) transcription of m RNA. d) transcription of DNA [true].	49,7
3	Green fluorescent protein (GFP) can be used in molecular biology in different ways because a) it is easy to detect its infrared fluorescent high emission. b) it is easy to generate fusion proteins with GFP and other proteins [true]. c) it can diffuse in an organism form one cell to another. d) its luminescence component alone is useful.	52,1
4	An electrophoresis apparatus consists of the following parts: a) one electrode, two buffer chambers, one gel carrier. b) two electrodes, two buffer chambers, two gel carriers. c) two electrodes, one buffer chamber, two gel carriers. d) two electrodes, two buffer chambers, one gel carrier [true].	77,1
5	A plasmid contains three recognition sites for the restriction enzyme BamHI and one recognition site for the restriction enzyme EcoRI. How many fragments will result in a double digest with these two enzymes [four]?	46,9

Table 1: Listing of five item examples providing the achievement survey

The internal consistency (N=363) provided a Cronbachs  $\alpha$  of 0.72. The item difficulties were normally distributed (Kolmogorov-Smirnov test, (Lilliefors modification),  $p=.20$  (N=16), see Figure 2a) and the corrected item-total correlations scored for 9 items  $>.3$  ( $p < .001$ ) and for 7 items  $>.2$  ( $p < .001$ ). We accepted the latter ones although below  $.3$  due to the complexity of the biology matter being tested (Diehl & Kohr 1999 [p. 397]). Additionally, the corrected item-total correlations relate to item difficulties in a parabolic way (Lienert 1969 [p. 40], Figure 2b) which any item selection has to take into account (Bortz & Döring 1995 [p. 200]).

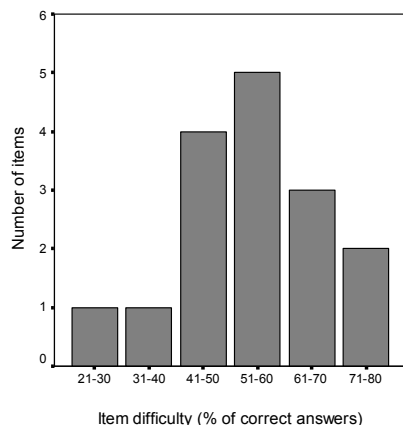


Figure 2a: Distribution of questionnaire item difficulties with regard to patterns of ten units

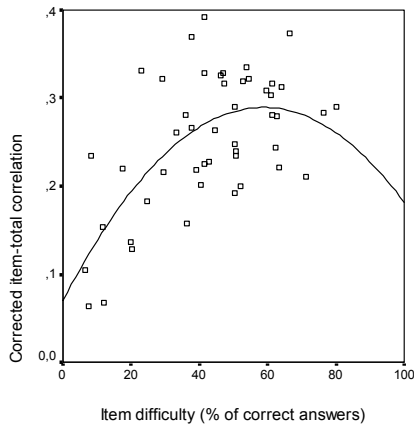


Figure 2b: Example of the parabolic relation between item difficulty and corrected item-total correlation (48 items of T-1, T-2, T-3, see Lienert 1969 [p. 40])

In each test, for every pupil a total score of all correct answers was calculated. Due to the partial lack of normal distribution of our data (Kolmogorov-Smirnov test (Lilliefors modification): T-1,  $p=.04$ , T-2,  $p=.20$ , T-3,  $p=.02$  ( $N=62$ )) nonparametric methods were applied. Changes within all three tests were analyzed with the Friedman-test in combination with a pair-wise analysis from T-1 to T-2 and T-3 and from T-2 to T-3 by using Wilcoxon signed-rank test.

**Results**

First of all, our data analysis revealed an unexpected result with regard to the external control group (while the other control groups provided data according with expectation): The external control group scores for the three tests unveiled a significant change over the whole time (Friedman test:  $N = 62$ , Chi-Square 8.67, D.F. 2, asymptotic significance .01; Figure 3). Despite the identical medians (Figure 4) the grouped medians changed significantly (Table 2) as the means did: 5.74 (T-1), 6.13 (T-2) and 6.44 (T-3).

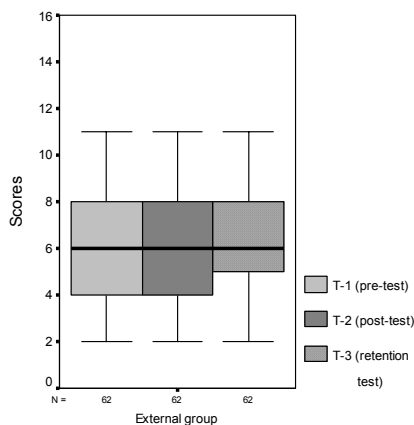


Figure 3: Test scores of the external control group without intervention

Pair-wise analysis showed a significant change from T-1 to T-3 by performing Wilcoxon signed-rank test (Table 2).

external control group	T-1 to T-2	T-2 to T-3	T-1 to T-3
medians (grouped)	5,57 to 6,20	6,20 to 6,40	5,57 to 6,40
Z	-1,857	-1,204	-2,137
asymptotic significance (two-tailed)	,06	,23	,03

Table 2: Results of Wilcoxon signed-rank test ( $N = 62$ , based on negative ranks)

Subsequent analysis on the individual course level lead to a distinction of two separate subsamples (Figure 4), one with no significant change over the three survey schedules, the other with substantial change.

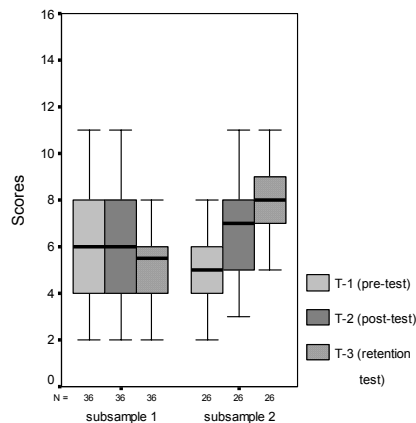


Figure 4: Test scores of two subsamples extracting two distinct course subgroups of the external control group

The first subsample was characterized in the Friedman-test (N = 36) by Chi-Square 1,350, D.F. 2 and asymptotic significance .51, the second one by the Friedman-test (N = 26) by Chi-Square 27,482, D.F. 2 and asymptotic significance < .001. A comparison of both subsamples' scores of the three different tests by Mann-Whitney-U-test revealed a significant difference at the testing schedule T-3 (Table 3).

	T-1	T-2	T-3
Mann-Whitney-U	433,000	405,000	166,000
Z	-,504	-,907	-4,353
asymptotic significance (two-tailed)	,62	,37	< ,001

Table 3: Result of Mann-Whitney-U-test comparing subsample-1 and subsample-2

A subsequent pair-wise analysis of subsample-2 (Table 4) showed significant changes within the three distinct survey dates. Despite the lack of any intervention pupils of this specific subsample achieved a step by step increase in their level of knowledge, especially in the final T-3 (the retention test six weeks later). Consequently, an unknown factor must have affected the knowledge level within this subsample of the external control-group.

external control group: subsample-2	T 1 to T 2	T 2 to T 3	T 1 to T 3
medians (grouped)	5,53 to 6,50	6,50 to 7,91	5,53 to 7,91
Z	-3,063	-3,689	-3,811
asymptotic significance (two-tailed)	,002	< ,001	< ,001

Table 4: Results of Wilcoxon signed-rank test (N = 26, based on negative ranks)

## Discussion

First of all, the result of our control-group in subsample-2 was quite unexpected. Second, we don't know the exact reason for the astonishing increase of achievement scores. However, we agree with Keeves (1998 [p. 1142] that "there is more information available in most well-designed evaluation studies", especially, when instruments have the potential to be more generally introduced besides the original intent. Consequently, an external group scoring may enable us to gain additional insights into potential effects of control-group suitabilities.

Although many studies about efficacies of laboratory activities often lack a retest control at all (e.g. Yager *et al.* 1969, Killermann 1998), we decided such a design in order to exclude potential pre-test effects. Neither pupils nor teachers had any contact either with each other with any course participating in an intervention of our study. Such contact was excluded due to distances between the individual testing sites and the general survey schedule as well. Furthermore, the control courses did not take part in nor planned to do so in any educational laboratory elsewhere.

The unexpected gain in achievement level in subsample-2 might be attributed to the pupils alone or to the teachers as well. At the first one, according to Cook & Campell (1979 [p. 101]) maturational factors might cause the scoring increase. Additionally, the exclusive participation in a pre-test (T-1) itself may cause self-contained learning due to the queried items alone. Neither argument, however, fits any likelihood: Pupils were unaware of the repeated testing schedules and the scores increased step-wise despite a time gap of about six weeks between post-test and retention test. The second major argument (a possible bias by the teacher) could not be excluded, although we don't have any concrete evidence for this. We simply don't know the actual source of the disruptive influence.

Additionally, the possibility of external influences via regional or supra-regional media could also not be eliminated. Schweiger & Brosius (1999 [p. 75]), for instance, described the potential of news with regard to the possible cloning of humans on pupils' specific attitudes towards gentechology in their external control-groups. Nevertheless, this only must have a low probability because of the temporal distribution of our surveys. Consequently, an intervention by the teacher was more likely which ever way it may have occurred, unconsciously or deliberately. Thus, the pupils may have been prepared for a routine assessment test maybe by repetition of the selected knowledge necessary for the survey. A step-wise achievement effect is also feasible. This could result from a teacher either specifically preparing his/her pupils for the surveys or just announcing both surveys and thus motivating his/her pupils to remind themselves of the previous test details in order to achieve better results.

Although we don't have any indicator to actual reasons for our result, a further explanation we should not exclude may be social desirability. A slight indication of this may be the fact that the person of investigator and of test administrator was not the same in the control-group surveys (as was the case in the intervention-groups). In our external control-groups the teachers were acting as mediators. Some of these may not have desisted from intervening with their samples. Mediators alone might have a specific interest conflicting with the investigators' interests adhering to the standards of an empirical study. A teacher as mediator may intercede in order to get better results on his/her pupils as a desirable social objective. Two potential reasons may have caused this. Firstly, a mediator may fear that investigators may get a poor impression of his/her capability. Secondly, he/she may have doubts about the anonymity of a survey, so bringing some shame on his/her school.

Consequently, selection of external control-groups needs careful action by focussing on exclusion of mediators' own interests as much as possible. For instance, investigators could explicitly refer to survey's anonymity and/or that it would be pointless to analyze data course-wise. Therefore, we point to the complex issue of control-group selection in general and their handling in particular that control-groups really function as such.

## References

- Baumert, J., Klieme, E., & Bos, W. (2001): Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Die Herausforderung von TIMSS für die Weiterentwicklung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts. In: Bundesministerium für Bildung und Forschung (eds.): *TIMSS - Impulse für Schule und Unterricht* (p. 11-41), Bonn.
- Baumert, J., Lehmann, R., Lehrke, M., Schmitz, B., Clausen, M., Hosenfeld, I., Köller, O., & Neubrand, J. (1997): *TIMSS - Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Deskriptive Befunde*. Opladen: Leske+Budrich.
- Beaton, A. E., Martin, M.O., Mullis, I.V.S., Gonzales, E.J., Smith, T.A., & Kelly, D.L. (1996): *Science achievement in the middle school years: IEA's third international mathematics and science study*. Chestnut Hill, MA.
- Bortz, J. & Döring, N. (1995): *Forschungsmethoden und Evaluation* (2. ed.). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Cook, T. D. & Campell, D. T. (1979): *Quasi-Experimentation. Design & Analysis Issues for Field Settings*. Chicago: Rand McNally College Publishing Company
- Diehl, J. M. & Kohr, H. U. (1999): *Deskriptive Statistik* (12. ed.). Eschborn: Dietmar Klotz.
- Euler, M. (2001): Lernen durch Experimentieren. In: Ringelband, U., Prenzel, M. & Euler, M (eds.): *Lernort Labor Initiativen zur naturwissenschaftlichen Bildung zwischen Schule, Forschung u. Wirtschaft* (p. 13-42). Kiel.
- Hofstein, A, & Lunetta, V. N. (1982): The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. *Review of educational research*, 52, 201-217.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004): The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*, 88 (1), 28-54.

- Keeves, J. P., (1998): Methods and Processes in Research in Science. In: Fraser, B.J., & Tobin, K.G.: *International Handbook of Science Education, Part Two* (p. 1127-1153). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academish Publishers.
- Killermann, W. (1998): Research into biology teaching methods. *Journal of Biological Education* 33 (1), 4-9.
- Klautke, S. (2003): "Entdeckend-forschendes Lernen. Unterrichtsverfahren im Biologieunterricht. *Lernchancen*, 31, 33-41.
- Lienert, G. A. (1969): *Testaufbau und Testanalyse* (3. ed.). Weinheim, Berlin, Basel: Julius Beltz.
- Maxton-Küchenmeister, J., & Herrmann, R. (2003): Genlabor & Schule - eine Übersicht über Experimentierangebote zur Vermittlung von Gen- und Biotechnologie an Schulen. *BIOspektrum*, 9 (4), 382-385.
- McNemar, Q. (1963): *Psychological Statistics* (3. ed.). New York, London: John Wiley and Sons.
- Perkins, D. N., & Unger, C., (1999): Teaching and Learning for Understanding. In: Reigeluth, C. M. (ed.): *Instructional-Design Theories and Models Volume II* (p. 91-114). Mahwah, NJ, London.
- Prenzel, M., Rost, J., Senkbeil, M., Häußler, P., & Klopp, A. (2001): Naturwissenschaftliche Grundbildung: Testkonzeption und Ergebnisse. In: Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Stanat, P., Tillmann, K.-J. & Weiß, M. (eds.): *PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich* (p. 191-248). Opladen: Leske+Budrich.
- Reigeluth, C. M., & Moore, J. (1999): Cognitive Education and the Cognitive Domain. In: Reigeluth, C. M. (ed.): *Instructional-Design Theories and Models Volume II* (p. 51-68). Mahwah, NJ, London.
- Roth, W.-M. (1994): Experimenting in a Constructivist High School Physics Laboratory. *Journal of Research in Science Teaching*, 31 (2), 197-223.
- Schweiger, W. & Brosius, H.-B. (1999): *Von der "Gentomate" zur Gentechnikakzeptanz. Eine Panelstudie zu Einstellungseffekten eines rollenden Genlabors an Gymnasien. Seminar der Zentralen Informationsstelle, Umweltberatung Bayern; 15.* Neuherberg, GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit.
- Tiberghien, A., 1998: A European analysis of labwork practice in science. In: *Fachdidaktik als Wissenschaft und Forschungsfeld in der Schweiz. Aktuelle Lage und Zukunftsperspektive in internationaler Sicht. Tagungsbericht des 2. Internationalen Kolloquiums der Forschungsstelle für Schulpädagogik und Fachdidaktik (FSF) der Universität Bern und der Forschungsstelle für Schulpädagogik (FS) der Universität Tübingen 18. - 23. Oktober 1998, Monte Verità, Ascona, Schweiz, Kap. 4.6.* URL: [http://www.afd.unibe.ch/texte/ascona\\_98/Download/4.6\\_tiberghien.pdf](http://www.afd.unibe.ch/texte/ascona_98/Download/4.6_tiberghien.pdf), online 28.9.2004.
- Tromans, A., 2004: Bright future for GFP. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 5 (November), 865.
- Tsien, R. Y. (1998): The green fluorescent protein. *Annual review of biochemistry*, 67, 509-544.
- Yager, R. E., Engen, H. B. & Snider, B. C. (1969): Effects of the Laboratory and Demonstration Methods upon the Outcomes of Instruction in Secondary Biology. *Journal of Research in Science Teaching* 6 (5), 76-86.

### Acknowledgments

We welcome the cooperation of teachers and pupils involved in this study. Additionally, we appreciate the helpful and valuable discussion of the manuscript with C. Lehner (Institute of Genetics, University of Bayreuth, Germany), M. Wiseman (Leibniz Computing Centre of the Bavarian Academy of Sciences, Munich, Germany) and S. Tomkins (Homerton College, Cambridge University, UK).

Finally, the study was financially granted by Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen and Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG: KL 664/5-1) and personally supported by Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus.

---

## Anhang 60: Ergebnisse zum Wissenserwerb in der Gesamtgruppe

### 1.1 Vergleich der Wissensbestände über die drei Messzeitpunkte

Friedman-Test:

Ränge

Statistik für Test

N	337
Chi-Quadrat	291,414
df	2



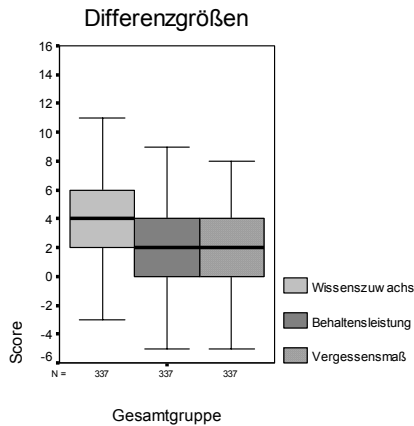
Asymptotische Signifikanz	,000
---------------------------	------

Wilcoxon-Test:

Statistik für Test(Gesamt jeweils N = 337)

	Aktuelles – Vorhandenes Wissen	Persistentes – Vorhandenes Wissen	Persistentes - Aktuelles Wissen
Z	-14,117	-10,010	-10,449
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000

**1.2 Vergleich der Differenzgrößen**



Differenzgrößen zum Wissenserwerb in der Gesamtgruppe (Wissenszuwachs: NT I – VT; Behaltensleistung: NT II – VT; Vergessensmaß: NT I – NT II)

**2. Vergleich des aktuellen Lernerfolgs und des persistenten Lernerfolgs vom zweiten zum dritten Messzeitpunkt**

Wilcoxon-Test:

(Gesamt N = 337)

Statistik für Test

	persistenter Lernerfolg - Lernerfolg
Z	-10,403
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000

**3. Vergleich der Wissensbestände zu den fünf Items mit der Anforderungsstufe Transfer zu den drei Messzeitpunkten**

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	337
Chi-Quadrat	81,351
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Wilcoxon-Tests:

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 337)

	NT Anzahl richtig Transfer - VT Anzahl richtig Transfer	NT II Anzahl richtig Transfer - VT Anzahl richtig Transfer	NT II Anzahl richtig Transfer - NT Anzahl richtig Transfer
Z	-8,373	-5,232	-4,927
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000

**4. Vergleich der Wissensbestände zu den beiden inhaltlich differenzierten Itemgruppen mit der Vorwissen- bzw. Projektbezug zu den drei Messzeitpunkten**

Friedman-Test:

Statistik für Test

Itemgruppe	Vorwissen	Projektwissen
N	337	337
Chi-Quadrat	42,911	355,571
df	2	2
Asymptotische Signifikanz	,000	,000

Wilcoxon-Tests:

## Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 337)

	NT Anzahl Vorwissen - VT Anzahl Vorwissen	NT II Anzahl Vorwissen - VT Anzahl Vorwissen	NT II Anzahl Vorwissen - NT Anzahl Vorwissen	NT Anzahl Projektwissen - VT Anzahl Projektwissen	NT II Anzahl Projektwissen - VT Anzahl Projektwissen	NT II Anzahl Projektwissen - NT Anzahl Projektwissen
Z	-6,859	-1,953	-5,232	-14,588	-12,235	-10,831
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,051	,000	,000	,000	,000

**5. Geschlechtsspezifische Unterschiede in der Gesamtgruppe**

Im Hinblick auf die Wissensbestände zu den einzelnen Messzeitpunkten, die Differenz- und Lernerfolgsgrößen und die Lösung von Items mit dem Anforderungsniveau Transfer lassen sich keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede feststellen (Mann-Whitney-Tests: p-Werte zwischen 0,052 u. 0,995, vgl. unten 5.1 bis 5.4). In den Variablen, die sich auf die inhaltlich differenzierten Itemgruppen beziehen, finden sich bis auf das projektbezogene Wissen im Vortest und das vorwissenbezogene Wissen im Nachtest II ebenfalls keine statistisch bedeutsamen Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen (Mann-Whitney-Tests: VT Projektwissen-Items  $p = 0,012$ , NT II Vorwissen-Items  $p = 0,017$ , restliche p-Werte zwischen 0,063 u. 0,982, vgl. im Detail unten 5.5).

Alle Angaben beruhen auf der Probandenzahl von  $N = 337$ .

**5.1 Wissensbestände**

## Statistik für Test

	Vorhandenes Wissen	Aktuelles Wissen	Persistentes Wissen
Mann-Whitney-U	8894,500	9795,500	9190,500
Z	-1,941	-,750	-1,548
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,052	,454	,122

**5.2 Differenzgrößen**

## Statistik für Test

	Wissenszuwachs	Behaltensleistung	Vergessensmaß
Mann-Whitney-U	9790,000	10181,000	9343,000
Z	-,760	-,246	-1,351
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,447	,806	,177

**5.3 Lernerfolg und persistenter Lernerfolg**

## Statistik für Test

	Lernerfolg	persistenter Lernerfolg
Mann-Whitney-U	10000,500	10284,500
Z	-,481	-,109
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,631	,913

**5.4 Aufgaben mit der Anforderungsstufe Transfer**

## Statistik für Test

	Wissenszuwachs Transfer	Behaltensleistung Transfer	Vergessensmaß Transfer
Mann-Whitney-U	10363,500	10360,500	10024,500
Z	-,006	-,010	-,461
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,995	,992	,645

**5.5 Itemgruppen Vorwissen und Projektwissen**

## Statistik für Test

	Mann-Whitney-U	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
VT Anzahl Vorwissen	9609,000	-1,007	,314
NT Anzahl Vorwissen	9765,500	-,800	,424
BT Anzahl Vorwissen	8564,500	-2,392	,017
VT Anzahl Projektwissen	8485,000	-2,526	,012
NT Anzahl Projektwissen	9997,500	-,490	,624
BT Anzahl Projektwissen	10228,000	-,185	,853
Vorwissen WZW	10351,000	-,023	,982
Projektwissen WZW	9521,500	-1,118	,264
Vorwissen BI	9418,000	-1,261	,207
Projektwissen BI	9178,500	-1,575	,115
Vorwissen Vm	8970,000	-1,856	,063
Projektwissen Vm	10213,500	-,205	,837
Lernerfolg Vorwissen	10300,500	-,089	,929

Lernerfolg Projektwissen	9915,000	-,593	,553
persist. Lernerfolg Vorwissen	9575,000	-1,045	,296
persist. Lernerfolg Projektwissen	9531,500	-1,099	,272

### 5.6 Deskriptive Statistik der beiden Variablen mit signifikanten Unterschieden

#### Bericht

Geschlecht		VT Anzahl Projektwissen	BT Anzahl Vorwissen
weiblich	Mittelwert	1,69	3,30
	N	256	256
	Standardabweichung	1,266	1,722
	Median	2,00	3,00
	Gruppiertes Median	1,58	3,25
	Minimum	0	0
	Maximum	5	7
männlich	Mittelwert	2,17	3,86
	N	81	81
	Standardabweichung	1,473	1,849
	Median	2,00	4,00
	Gruppiertes Median	2,06	3,86
	Minimum	0	0
	Maximum	5	7
Insgesamt	Mittelwert	1,81	3,44
	N	337	337
	Standardabweichung	1,332	1,767
	Median	2,00	3,00
	Gruppiertes Median	1,68	3,42
	Minimum	0	0
	Maximum	5	7

### 6. Schulzweigspezifische Unterschiede in der Gesamtgruppe

Aufgrund der unterschiedlichen Wertung der Naturwissenschaften wird der mathematisch-naturwissenschaftliche Zweig den anderen Schulzweigen gegenübergestellt (nur dort verpflichtende Schülerübungen in Chemie und Physik)

Bezogen auf den mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig besitzen die Schüler dieser Ausbildungsrichtung zwar zu allen drei Messzeitpunkten signifikante höhere Wissensscores (Mann-Whitney-Tests: p-Werte 0,001 bzw. 0,037, vgl. im Detail unten 6.1), diese Unterschiede sind jedoch auf der Ebene der Differenzgrößen und des Lernerfolgs nicht mehr statistisch bedeutsam (Mann-Whitney-Tests: p-Werte zwischen 0,562 u. 0,955, vgl. im Detail 6.2 bis 3). Bei den Aufgaben mit Transfer-Niveau finden sich auf allen Analyseebenen ebenfalls keine signifikanten Unterschiede (Mann-Whitney-Tests: p-Werte zwischen 0,106 u. 0,864, vgl. im Detail 6.4). Im Bereich der inhaltlichen Differenzierung besitzen die Schüler des mat.-nat. Zweiges signifikant höhere Scores bei den Vorwissen- und den projektbezogenen Items im Vortest und bei ersteren auch im Nachtest I. Beim Wissenszuwachs bezogen auf diese Itemgruppe kehren sich die Verhältnisse um (Mann-Whitney-Tests: p-Werte zwischen 0,001 u. 0,029, vgl. im Detail unten 6.5).

Die folgenden Angaben beruhen auf einer Probandenzahl von N = 332.

#### 6.1 Wissensbestände

##### Bericht

Schulzweig mat.-nat.		Vorhandenes Wissen	Aktuelles Wissen	Persistentes Wissen
nicht MNG	Mittelwert	4,62	8,46	6,64
	N	181	181	181
	Standardabweichung	2,464	3,172	2,791
	Median	4,00	8,00	7,00
	Gruppiertes Median	4,40	8,53	6,59
	Minimum	0	2	0
	Maximum	11	16	13
MNG	Mittelwert	5,59	9,18	7,40
	N	151	151	151
	Standardabweichung	2,575	3,422	3,268
	Median	5,00	10,00	7,00
	Gruppiertes Median	5,50	9,53	7,30
	Minimum	0	1	0
	Maximum	11	16	15
Insgesamt	Mittelwert	5,06	8,79	6,98

	N	332	332	332
	Standardabweichung	2,557	3,302	3,036
	Median	5,00	9,00	7,00
	Gruppiertes Median	4,87	8,98	6,88
	Minimum	0	1	0
	Maximum	11	16	15

## Statistik für Test

	Vorwissen	Aktuelles Wissen	Persistentes Wissen
Mann-Whitney-U	10724,500	11860,500	11854,500
Z	-3,400	-2,081	-2,089
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,001	,037	,037

**6.2 Differenzgrößen**

## Statistik für Test

	Wissenszuwachs	Behaltensleistung	Vergessensmaß
Mann-Whitney-U	13175,000	13163,000	13407,000
Z	-,566	-,580	-,299
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,572	,562	,765

**6.3 Lernerfolg und persistenter Lernerfolg**

## Statistik für Test

	Lernerfolg	persistenter Lernerfolg
Mann-Whitney-U	13536,000	13616,000
Z	-,149	-,057
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,882	,955

**6.4 Aufgaben mit dem Anforderungsniveau Transfer**

## Statistik für Test

	Mann-Whitney-U	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
VT Anzahl richtig Transfer	12306,000	-1,616	,106
NT Anzahl richtig Transfer	12625,500	-1,217	,224
BT Anzahl richtig Transfer	12932,000	-,865	,387
Wissenszuwachs Transfer	13336,000	-,389	,698
Behaltensleistung Transfer	13384,000	-,333	,739
Vergessensmaß Transfer	13520,500	-,171	,864
Transfer Lernerfolg	13429,000	-,277	,782
Transfer persist. Lernerfolg	13507,500	-,187	,852

**6.5 Itemgruppen Vorwissen und Projektwissen**

## Statistik für Test

	Mann-Whitney-U	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
VT Anzahl Vorwissen	10778,000	-3,361	,001
NT Anzahl Vorwissen	13184,500	-,560	,575
BT Anzahl Vorwissen	12223,500	-1,678	,093
VT Anzahl Projektwissen	11816,500	-2,178	,029
NT Anzahl Projektwissen	11254,000	-2,797	,005
BT Anzahl Projektwissen	12278,500	-1,613	,107
Vorwissen WZW	11472,000	-2,556	,011
Projektwissen WZW	12681,500	-1,140	,254
Vorwissen BI	12437,500	-1,430	,153
Projektwissen BI	13452,000	-,248	,804
Vorwissen Vm	12223,000	-1,681	,093
Projektwissen Vm	12903,500	-,888	,375
Lernerfolg Vorwissen	11706,000	-2,264	,024
Lernerfolg Projektwissen	12235,500	-1,644	,100
persist. Lernerfolg Vorwissen	13114,000	-,638	,524
persist. Lernerfolg Projektwissen	13116,000	-,634	,526

**6.6 Signifikante Zusammenhänge zwischen den berechneten Größen und der unterrichtlichen Experimentiererfahrung**

## 6.6.1 Häufigkeiten der eigenen und der unterrichtlichen Experimentiererfahrungen

## Summe eigene Experimentiererfahrung

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
--	------------	---------	------------------	---------------------

Gültig	0	24	7,1	7,5	7,5
	1	49	14,5	15,3	22,8
	2	56	16,6	17,5	40,3
	3	62	18,4	19,4	59,7
	4	59	17,5	18,4	78,1
	5	40	11,9	12,5	90,6
	6	19	5,6	5,9	96,6
	7	9	2,7	2,8	99,4
	8	2	,6	,6	100,0
	Gesamt	320	95,0	100,0	
Fehlend	System	17	5,0		
Gesamt		337	100,0		

Summe Experimentiererfahrung Unterricht

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	0	1	,3	,3	,3
	1	2	,6	,6	,9
	2	3	,9	,9	1,9
	3	4	1,2	1,3	3,1
	4	24	7,1	7,5	10,7
	5	61	18,1	19,2	29,9
	6	92	27,3	28,9	58,8
	7	75	22,3	23,6	82,4
	8	39	11,6	12,3	94,7
	9	16	4,7	5,0	99,7
	10	1	,3	,3	100,0
	Gesamt	318	94,4	100,0	
Fehlend	System	19	5,6		
Gesamt		337	100,0		

6.6.2 Korrelationen

	Spearman-Rho	Behaltensleistung	Wissenszuwachs Transfer	Behaltensleistung Transfer	persistenter Lernerfolg	Transfer Lernerfolg
Summe Experimentiererfahrung Unterricht	Korrelationskoeffizient	,191	,158	,202	,197	,118
	Sig. (2-seitig)	,001	,005	,000	,000	,035
	N	318	318	318	318	318

Korrelationen

	Spearman-Rho	Transfer Lernerfolg	Transfer persist. Lernerfolg	Vorwissen BI	Projektwissen BI	persist. Lernerfolg Vorwissen	persist. Lernerfolg Projektwissen
Summe Experimentiererfahrung Unterricht	Korrelationskoeffizient	,118	,186	,159	,138	,153	,129
	Sig. (2-seitig)	,035	,001	,004	,014	,006	,022
	N	318	318	318	318	318	318

**7. Signifikante Zusammenhänge zwischen berechneten Größen und den vorherigen schulischen Leistungen**

Die Angaben beruhen auf einer Probandenzahl von N = 325.

Korrelationen

	Spearman-Rho	Vorhandenes Wissen	aktuelles Wissen	persistentes Wissen
schulische Leistung (schriftlich)	Korrelationskoeffizient	,282	,444	,458
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000

Korrelationen

	Spearman-Rho	Wissenszuwachs	Behaltensleistung	Wissenszuwachs Transfer	Behaltensleistung Transfer	Lernerfolg	persistenter Lernerfolg
schulische Leistung (schriftlich)	Korrelationskoeffizient	,231	,223	,163	,128	,300	,264
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	,003	,021	,000	,000

## Korrelationen

	Spearman-Rho	Transfer Lernerfolg	Transfer persist. Lernerfolg	Projektwissen WZW	Projektwissen BI	Lernerfolg Projektwissen	persist. Lernerfolg Projektwissen
schulische Leistung (schriftlich)	Korrelationskoeffizient	,195	,119	,261	,234	,303	,245
	Sig. (2-seitig)	,000	,032	,000	,000	,000	,000

**8. Ergebnisse der klassifizierenden Analyse**

Die Veränderungen zwischen den einzelnen Messzeitpunkten werden mit Hilfe von Kreuztabellen zur Dokumentation der Wanderungsbewegungen zwischen den latenten Klassen

( **Lerner Stagnierer Verlerner** ) dargestellt (vgl. Nerdel 2002, S. 53).

Die Zellen geben die absoluten Personenhäufigkeiten an.

**8.1 Wechsel Vortest zum Nachtest I**

	Klassen	Nachtest I			Gesamt
		Wenig-Köner	Vorwissen-Köner	Viel-Köner	
Vortest	Wenig-Köner	88	11	131	230
	Vorwissen-Köner	7	11	58	76
	Viel-Köner	5	1	25	31
	Gesamt	100	23	214	337

**8.2 Wechsel Nachtest I zum Nachtest II**

	Klassen	Nachtest I			Gesamt
		Wenig-Köner	Vorwissen-Köner	Viel-Köner	
Nachtest I	Wenig-Köner	82	10	8	100
	Vorwissen-Köner	15	4	4	23
	Viel-Köner	77	32	105	214
	Gesamt	174	46	117	337

**8.3 Wechsel Vortest zum Nachtest II**

	Klassen	Nachtest II			Gesamt
		Wenig-Köner	Vorwissen-Köner	Viel-Köner	
Vortest	Wenig-Köner	142	27	61	230
	Vorwissen-Köner	21	13	41	75
	Viel-Köner	11	6	15	32
	Gesamt	174	46	117	337

**8.4 Relative Personenhäufigkeiten**

Anteile an Lernern (für die Abkürzungen vgl. Tab. 35, Kap. V 5.1)

Anteile (A) an Lernern	Berechnung	VT - NT I	NT I - NT II	VT - NT II
insgesamt	$A_{ge} = (L1 + L2 + L3)/G$	0,59	0,07	0,41
bei der Aktualisierung von Vorwissen	$A_{Vw} = L1/G$	0,03	0,03	0,08
beim Erwerb von projektbezogenem Wissen mit vorhandenem Vorwissen	$A_{Pw} = L2/G$	0,17	0,01	0,12
bei der Aktualisierung von Vorwissen und dem Erwerb von projektbezogenem Wissen	$A_{Vw/Pw} = L3/G$	0,39	0,02	0,17

Anteile an Verlernern (für die Abkürzungen vgl. Tab. 35, Kap. V 5.1)

Anteile (A) an Verlernern	Berechnung	VT - NT I	NT I - NT II	VT - NT II
insgesamt	$A_{ge} = (V1 + V2 + V3)/G$	0,04	0,37	0,11
beim Vergessen von Vorwissen	$A_{Vw} = V1/G$	0,02	0,04	0,06
beim Vergessen von projektbezogenem Wissen mit bleibendem Vorwissen	$A_{Pw} = V2/G$	0	0,1	0,02
beim Vergessen von Vorwissen und projektbezogenem Wissen	$A_{Vw/Pw} = V3/G$	0,02	0,23	0,03

**1.1 Vergleich der Wissensbestände über die drei Messzeitpunkte**

## 1.1.1 Externe Kontrollgruppe

Friedman-Test:

N	36
Chi-Quadrat	1,350
df	2
Asymptotische Signifikanz	,509

## 1.1.2 Schul-Gruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	83
Chi-Quadrat	76,318
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Wilcoxon-Test:

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 83)

	Aktuelles - Vorhandenes Wissen	Persistentes - Vorhandenes Wissen	Persistentes - Aktuelles Wissen
Z	-7,307	-5,968	-4,325
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000

## 1.1.3 Labor-Gruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	72
Chi-Quadrat	81,265
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Wilcoxon-Test:

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 72)

	Aktuelles - Vorhandenes Wissen	Persistentes - Vorhandenes Wissen	Persistentes - Aktuelles Wissen
Z	-6,641	-5,565	-5,718
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000

## 1.1.4 Experimental-Gruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	146
Chi-Quadrat	159,472
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Wilcoxon-Test:

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 146)

	Aktuelles - Vorhandenes Wissen	Persistentes - Vorhandenes Wissen	Persistentes - Aktuelles Wissen
Z	-10,001	-6,796	-7,679
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000

**1.2 Vergleich der Untersuchungsgruppen in Bezug auf die Wissensbestände zu den drei Messzeitpunkten**

Kruskal-Wallis-Test:

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 337)

	Vorhandenes Wissen	Aktuelles Wissen	Persistentes Wissen
Chi-Quadrat	40,627	52,954	22,735
df	3	3	3
Asymptotische Signifikanz	,000	,000	,000

**1.3 Vergleich der Differenzgrößen**

## 1.3.1 Vergleich über alle Gruppen: Kruskal-Wallis-Tests

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 337)

	Wissenszuwachs	Behaltensleistung	Vergessensmaß
--	----------------	-------------------	---------------

Chi-Quadrat	54,349	25,205	18,415
df	3	3	3
Asymptotische Signifikanz	,000	,000	,000

### 1.3.2 Paarweise Tests: Mann-Whitney-Tests

Externe Ko.- vs. Schul-Gruppe (Gesamt jeweils N = 119)

Statistik für Test

	Wissenszuwachs	Behaltensleistung	Vergessensmaß
Mann-Whitney-U	449,500	705,500	1172,500
Z	-6,066	-4,588	-1,877
Asymptotische Signifikanz	,000	,000	,061

Externe Ko. vs. Labor-Gruppe (Gesamt jeweils N = 108)

Statistik für Test

	Wissenszuwachs	Behaltensleistung	Vergessensmaß
Mann-Whitney-U	314,000	626,000	812,500
Z	-6,426	-4,396	-3,180
Asymptotische Signifikanz	,000	,000	,001

Externe Ko. vs. Experimental-Gruppe (Gesamt jeweils N = 182)

Statistik für Test

	Wissenszuwachs	Behaltensleistung	Vergessensmaß
Mann-Whitney-U	627,500	1428,500	1590,500
Z	-7,097	-4,261	-3,689
Asymptotische Signifikanz	,000	,000	,000

Schul- vs. Labor-Gruppe (Gesamt jeweils N = 155)

Statistik für Test

	Wissenszuwachs	Behaltensleistung	Vergessensmaß
Mann-Whitney-U	2753,000	2779,500	2503,000
Z	-,848	-,752	-1,756
Asymptotische Signifikanz	,397	,452	,079

Schul- vs. Experimental-Gruppe (Gesamt jeweils N = 229)

Statistik für Test

	Wissenszuwachs	Behaltensleistung	Vergessensmaß
Mann-Whitney-U	5816,500	5418,500	4783,000
Z	-,506	-1,336	-2,666
Asymptotische Signifikanz	,613	,181	,008

Laborl- vs. Experimental-Gruppe (Gesamt jeweils N = 218)

Statistik für Test

	Wissenszuwachs	Behaltensleistung	Vergessensmaß
Mann-Whitney-U	5030,500	4979,500	4955,000
Z	-,518	-,635	-,692
Asymptotische Signifikanz	,605	,525	,489

## 2. Vergleich der Untersuchungsgruppen in Bezug auf den kognitiven aktuellen Lernerfolg und den persistenten Lernerfolg

### 2.1 Vergleich über alle Gruppen: Kruskal-Wallis-Test

Statistik für Test

	aktueller Lernerfolg	persistenter Lernerfolg
Chi-Quadrat	56,747	25,281
Z	3	3
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000

### 2.2 Paarweise Tests: Mann-Whitney-Tests

Externe Ko. vs. Schul-Gruppe (Gesamt jeweils N = 119)

Statistik für Test

	aktueller Lernerfolg	persistenter Lernerfolg
Mann-Whitney-U	493,000	707,000
Z	-5,794	-4,564
Asymptotische Signifikanz	,000	,000

Externe Ko. vs. Labor-Gruppe (Gesamt jeweils N = 108)

Statistik für Test

	aktueller Lernerfolg	persistenter Lernerfolg
Mann-Whitney-U	319,000	636,500
Z	-6,369	-4,310
Asymptotische Signifikanz	,000	,000



Externe Ko. vs. Experimental-Gruppe (Gesamt jeweils N = 182)

Statistik für Test

	aktueller Lernerfolg	persistenter Lernerfolg
Mann-Whitney-U	594,000	1319,000
Z	-7,187	-4,631
Asymptotische Signifikanz	,000	,000

Schul- vs. Labor-Gruppe (Gesamt jeweils N = 155)

Statistik für Test

	aktueller Lernerfolg	persistenter Lernerfolg
Mann-Whitney-U	2570,500	2834,500
Z	-1,498	-,552
Asymptotische Signifikanz	,134	,581

Schul- vs. Experimental-Gruppe (Gesamt jeweils N = 229)

Statistik für Test

	aktueller Lernerfolg	persistenter Lernerfolg
Mann-Whitney-U	5092,500	5838,000
Z	-2,006	-,459
Asymptotische Signifikanz	,045	,646

Labor- vs. Experimental-Gruppe (Gesamt jeweils N = 218)

Statistik für Test

	aktueller Lernerfolg	persistenter Lernerfolg
Mann-Whitney-U	5105,000	5131,000
Z	-,345	-,286
Asymptotische Signifikanz	,730	,775

### 3. Vergleich der Untersuchungsgruppen in Bezug auf die Wissensbestände zu den fünf Items mit der Anforderungsstufe Transfer zu den drei Messzeitpunkten

#### 3.1 Vergleich über alle drei Zeitpunkte: Friedman-Tests:

Statistik für Test

Gruppe	externe Ko.-	Schul-	Labor-	Experimental-Gr.
N	36	83	72	146
Chi-Quadrat	5,406	23,654	12,009	46,226
df	2	2	2	2
Asymptotische Signifikanz	,067	,000	,002	,000

#### 3.2 Vergleich von Messzeitpunkt zu Messzeitpunkt: Wilcoxon-Tests:

Schul-Gruppe

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 83)

	NT Anzahl richtig Transfer - VT Anzahl richtig Transfer	NT II Anzahl richtig Transfer - VT Anzahl richtig Transfer	NT II Anzahl richtig Transfer - NT Anzahl richtig Transfer
Z	-4,210	-3,468	-,923
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,001	,356

Labor-Gruppe

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 72)

	NT Anzahl richtig Transfer - VT Anzahl richtig Transfer	NT II Anzahl richtig Transfer - VT Anzahl richtig Transfer	NT II Anzahl richtig Transfer - NT Anzahl richtig Transfer
Z	-3,088	-2,402	-2,111
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,002	,016	,035

Experimental-Gruppe

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 146)

	NT Anzahl richtig Transfer - VT Anzahl richtig Transfer	NT II Anzahl richtig Transfer - VT Anzahl richtig Transfer	NT II Anzahl richtig Transfer - NT Anzahl richtig Transfer
Z	-6,592	-4,040	-4,195
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000

#### 3.3 Vergleich der Untersuchungsgruppen im Hinblick auf den Score der Transfer-Items im Vortest

Kruskal-Wallis-Test:

Statistik für Test

	VT Anzahl richtig Transfer
Chi-Quadrat	23,167
df	3
Asymptotische Signifikanz	,000

### 3.4 Differenzgrößen

#### 3.4.1 Vergleich über alle Gruppen: Kruskal-Wallis-Tests

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 337)

	Wissenszuwachs Transfer	Behaltensleistung Transfer	Vergessensmaß Transfer
Chi-Quadrat	7,839	8,866	2,998
df	3	3	3
Asymptotische Signifikanz	,049	,031	,392

#### 3.4.2 Paarweise Tests: Mann-Whitney-Tests

Externe Ko. vs. Schul-Gruppe (Gesamt jeweils N = 119)

Statistik für Test

	Wissenszuwachs Transfer	Behaltensleistung Transfer
Mann-Whitney-U	1200,500	1008,000
Z	-1,756	-2,890
Asymptotische Signifikanz	,079	,004

Externe Ko. vs. Labor-Gruppe (Gesamt jeweils N = 108)

Statistik für Test

	Wissenszuwachs Transfer	Behaltensleistung Transfer
Mann-Whitney-U	1145,500	979,500
Z	-1,013	-2,134
Asymptotische Signifikanz	,311	,033

Externe Ko. vs. Experimental-Gruppe (Gesamt jeweils N = 182)

Statistik für Test

	Wissenszuwachs Transfer	Behaltensleistung Transfer
Mann-Whitney-U	1866,000	1971,000
Z	-2,783	-2,391
Asymptotische Signifikanz	,005	,017

Schul- vs. Labor (Gesamt jeweils N = 155)

Statistik für Test

	Wissenszuwachs Transfer	Behaltensleistung Transfer
Mann-Whitney-U	2814,000	2680,000
Z	-,639	-1,141
Asymptotische Signifikanz	,523	,254

Schul- vs. Experimental-Gr. (Gesamt N = 229)

Statistik für Test

	Wissenszuwachs Transfer	Behaltensleistung Transfer
Mann-Whitney-U	5621,500	5584,500
Z	-,932	-1,012
Asymptotische Signifikanz	,351	,312

Labor- vs. Experimental-Gr. (Gesamt jeweils N = 218)

Statistik für Test

	Wissenszuwachs Transfer	Behaltensleistung Transfer
Mann-Whitney-U	4598,500	5130,000
Z	-1,539	-,297
Asymptotische Signifikanz	,124	,767

### 3.5 Vergleich der Untersuchungsgruppen in Bezug auf den kognitiven Lernerfolg für die mit der Anforderungsstufe Transfer

#### 3.5.1 Vergleich über alle Gruppen: Kruskal-Wallis-Test

Statistik für Test

	aktueller Lernerfolg Transfer	persistenter Lernerfolg transfer
Chi-Quadrat	7,865	6,432
Z	3	3
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,049	,092

#### 3.5.2 Paarweise Tests: Mann-Whitney-Tests

Externe Ko. vs. Schul-Gruppe (Gesamt N = 119)

Statistik für Test

	aktueller Lernerfolg Transfer
Mann-Whitney-U	1256,500
Z	-1,419

Asymptotische Signifikanz	,156
Externe Ko. vs. Labor-Gruppe (Gesamt N = 108)	
Statistik für Test	
	aktueller Lernerfolg Transfer
Mann-Whitney-U	1119,500
Z	-1,190
Asymptotische Signifikanz	,234

Externe Ko. vs. Experimental-Gruppe (Gesamt N = 182)

	aktueller Lernerfolg Transfer
Mann-Whitney-U	1867,000
Z	-2,724
Asymptotische Signifikanz	,006

Schul- vs. Labor-Gruppe (Gesamt N = 155)

	aktueller Lernerfolg Transfer
Mann-Whitney-U	2958,000
Z	-,111
Asymptotische Signifikanz	,912

Schul- vs. Experimental-Gruppe (Gesamt N = 229)

	aktueller Lernerfolg Transfer
Mann-Whitney-U	5349,500
Z	-1,494
Asymptotische Signifikanz	,135

Labor- vs. Experimental-Gruppe (Gesamt N = 218)

	aktueller Lernerfolg Transfer
Mann-Whitney-U	4683,500
Z	-1,326
Asymptotische Signifikanz	,185

**4. Vergleich der Wissensbestände zu den beiden inhaltlich differenzierten Itemgruppen mit der Vorwissen- bzw. Projektbezug zu den drei Messzeitpunkten**

**4.1 Vergleich über die drei Messzeitpunkte: Friedman-Tests**

Statistik für Test

Item-gruppe	Vorwissen				Projektwissen			
	externe Ko.-	Schul-	Labor-	Experimental-Gr.	externe Ko.-	Schul-	Labor-	Experimental-Gr.
N	36	83	72	337	36	83	72	146
Chi-Quadrat	3,076	5,956	26,314	42,911	2,991	92,221	77,746	204,974
df	2	2	2	2	2	2	2	2
Asympt. Sig.	,215	,051	,000	,000	,224	,000	,000	,000

**4.2 Paarweise Vergleiche der Messzeitpunkte: Wilcoxon-Tests**

Schul-Gruppe

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 83)

	NT Anzahl Projektwissen - VT Anzahl Projektwissen	NT II Anzahl Projektwissen - VT Anzahl Projektwissen	NT II Anzahl Projektwissen - NT Anzahl Projektwissen
Z	-7,482	-4,626	-6,776
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000

Labor-Gruppe

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 72)

	NT Anzahl Vorwissen - VT Anzahl Vorwissen	NT II Anzahl Vorwissen - VT Anzahl Vorwissen	NT II Anzahl Vorwissen - NT Anzahl Vorwissen	NT Anzahl Projektwissen - VT Anzahl Projektwissen	NT II Anzahl Projektwissen - VT Anzahl Projektwissen	NT II Anzahl Projektwissen - NT Anzahl Projektwissen
Z	-4,650	-3,622	-2,784	-6,815	-5,424	-5,697
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,005	,000	,000	,000

Experimental-Gruppe

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 146)

	NT Anzahl	NT II Anzahl	NT II Anzahl	NT Anzahl	NT II Anzahl	NT II Anzahl
--	-----------	--------------	--------------	-----------	--------------	--------------

	Vorwissen - VT Anzahl Vorwissen	Vorwissen - VT Anzahl Vorwissen	Vorwissen - NT Anzahl Vorwissen	Projektwissen - VT Anzahl Projektwissen	Projektwissen - VT Anzahl Projektwissen	Projektwissen - NT Anzahl Projektwissen
Z	-4,846	-, 864	-3,919	-10,190	-8,483	-8,456
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	, 388	, 000	,000	,000	,000

#### 4.3 Vergleich der Untersuchungsgruppen im Hinblick auf den Score der Vorwissen- und projektbezogenen Items im Vortest

Kruskal-Wallis-Test: Ränge

Statistik für Test

	VT Anzahl richtig Vorwissen	VT Anzahl richtig Projektwissen
Chi-Quadrat	25,950	35,294
df	3	3
Asymptotische Signifikanz	,000	,000

#### 4.4 Vergleich der Differenzgrößen

4.4.1 Vergleich über alle Gruppen: Kruskal-Wallis-Tests

(Gesamt jeweils N = 337)

Statistik für Test

	Wissenszuwachs Vorwissen	Vergessensmaß Vorwissen
Chi-Quadrat	15,786	3,924
df	3	3
Asymptotische Signifikanz	,001	,270

Statistik für Test

	Wissenszuwachs Projektwissen	Behaltensleistung Projektwissen	Vergessensmaß Projektwissen
Chi-Quadrat	58,463	25,613	24,618
df	3	3	3
Asymptotische Signifikanz	,000	,000	,000

4.4.2 Paarweise Tests: Mann-Whitney-Tests

Externe Ko.- vs. Schul-Gruppe (Gesamt jeweils N = 119)

Statistik für Test

	Wissenszuwachs Vorwissen	Wissenszuwachs Projektwissen	Behaltensleistung Projektwissen	Vergessensmaß Projektwissen
Mann-Whitney-U	1065,500	403,500	701,500	977,000
Z	-2,521	-6,354	-4,634	-3,033
Asymptotische Signifikanz	,012	,000	,000	,002

Externe Ko.- vs. Labor-Gruppe (Gesamt jeweils N = 108)

Statistik für Test

	Wissenszuwachs Vorwissen	Wissenszuwachs Projektwissen	Behaltensleistung Projektwissen	Vergessensmaß Projektwissen
Mann-Whitney-U	715,000	353,500	746,500	743,000
Z	-3,840	-6,192	-3,630	-3,654
Asymptotische Signifikanz	,000	,000	,000	,000

Externe Ko. vs. Experimental-Gruppe (Gesamt jeweils N = 182)

Statistik für Test

	Wissenszuwachs Vorwissen	Wissenszuwachs Projektwissen	Behaltensleistung Projektwissen	Vergessensmaß Projektwissen
Mann-Whitney-U	1769,000	502,000	1348,000	1279,500
Z	-3,081	-7,577	-4,581	-4,835
Asymptotische Signifikanz	,002	,000	,000	,000

Schul- vs. Experimental-Gruppe (Gesamt jeweils N = 229)

Statistik für Test

	Vorwissen WZW	Projektwissen WZW	Projektwissen Bl	Projektwissen Vm
Mann-Whitney-U	5804,500	5957,500	5478,000	5025,000
Z	-,536	-,213	-1,220	-2,181
Asymptotische Signifikanz (2- seitig)	,592	,831	,222	,029

Labor- vs. Experimental-Gruppe (Gesamt jeweils N = 218)

Statistik für Test

	Vorwissen WZW	Projektwissen WZW	Projektwissen BI	Projektwissen Vm
Mann-Whitney-U	4547,500	4883,000	4961,000	4760,000
Z	-1,643	-,862	-,682	-1,151
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,100	,389	,495	,250

Labor- vs. Schul-Gruppe (Gesamt jeweils N = 218)

Statistik für Test

	Vorwissen WZW	Projektwissen WZW	Projektwissen BI	Projektwissen Vm
Mann-Whitney-U	2461,500	2825,500	2553,500	2764,000
Z	-1,918	-,589	-1,575	-,816
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,055	,556	,115	,415

#### 4.5 Vergleich der Untersuchungsgruppen in Bezug auf den aktuellen Lernerfolg für die beiden Gruppen Vor- und Projektwissen-Items und den persistenten Lernerfolg für die Projektwissen-Items

4.5.1 Vergleich über alle Gruppen: Kruskal-Wallis-Test

(Gesamt jeweils N = 337)

Statistik für Test

	aktueller Lernerfolg Vorwissen	aktueller Lernerfolg Projektwissen	persistenter Lernerfolg Projektwissen
Chi-Quadrat	15,450	59,838	24,858
Z	3	3	3
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,001	,000	,000

4.5.2 Paarweise Tests: Mann-Whitney-Tests

Externe Ko.- vs. Schul-Gruppe (Gesamt jeweils N = 119)

Statistik für Test

	aktueller Lernerfolg Vorwissen	aktueller Lernerfolg Projektwissen	persistenter Lernerfolg Projektwissen
Mann-Whitney-U	1034,500	440,000	736,500
Z	-2,689	-6,113	-4,409
Asymptotische Signifikanz	,007	,000	,000

Externe Ko.- vs. Labor-Gruppe (Gesamt jeweils N = 108)

Statistik für Test

	aktueller Lernerfolg Vorwissen	aktueller Lernerfolg Projektwissen	persistenter Lernerfolg Projektwissen
Mann-Whitney-U	720,000	347,500	764,500
Z	-3,774	-6,195	-3,483
Asymptotische Signifikanz	,000	,000	,000

Externe Ko. vs. Experimental-Gruppe (Gesamt jeweils N = 182)

Statistik für Test

	aktueller Lernerfolg Vorwissen	aktueller Lernerfolg Projektwissen	persistenter Lernerfolg Projektwissen
Mann-Whitney-U	1818,500	468,000	1276,500
Z	2484,500	1134,000	1942,500
Z	-2,876	-7,640	-4,797
Asymptotische Signifikanz	,004	,000	,000

Schul- vs. Labor-Gruppe (Gesamt jeweils N = 155)

Statistik für Test

	aktueller Lernerfolg Vorwissen	aktueller Lernerfolg Projektwissen	persistenter Lernerfolg Projektwissen
Mann-Whitney-U	2384,000	2971,000	2646,500
Z	-2,181	-,061	-1,230
Asymptotische Signifikanz	,029	,951	,219

Schul- vs. Experimental-Gruppe (Gesamt jeweils N = 129)

Statistik für Test

	aktueller Lernerfolg Vorwissen	aktueller Lernerfolg Projektwissen	persistenter Lernerfolg Projektwissen
--	--------------------------------	------------------------------------	---------------------------------------

Mann-Whitney-U	5727,500	5363,500	5888,500
Z	-,692	-1,445	-,355
Asymptotische Signifikanz	,489	,149	,722

Labor- vs. Experimental-Gruppe (Gesamt jeweils N = 218)

Statistik für Test

	aktueller Lernerfolg Vorwissen	aktueller Lernerfolg Projektwissen	persistenter Lernerfolg Projektwissen
Mann-Whitney-U	4618,500	4645,500	4750,000
Z	-1,462	-1,396	-1,159
Asymptotische Signifikanz	,144	,163	,246

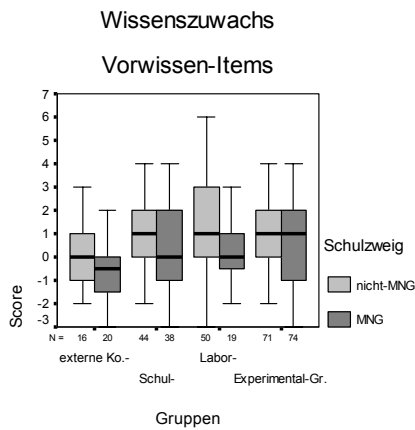
**5. Schulzweigspezifische Unterschiede in Bezug auf die Untersuchungsgruppen**

Der einzige beachtenswerte Unterschied in der Gesamtgruppe ist der Wissenszuwachs im Bereich der Vorwissen-Items.

Test der Untersuchungsgruppen: Mann-Whitney-Tests

Statistik für Test

	Externe Ko.-	Schul-	Labor-	Experimental-Gr.
Mann-Whitney-U	123,000	720,500	297,500	2556,000
Z	-1,202	-1,091	-2,422	-,285
Asymptotische Signifikanz	,229	,275	,015	,775



Schulzweigbezogener Vergleich der Untersuchungsgruppen (mat.-nat. Zweig (MNG) vs. andere Zweige (nicht-MNG)) im Hinblick auf den Wissenszuwachs der Vorwissen-Items: signifikante Unterschiede nur bei der Labor-Gruppe

**6. Vergleich der Unterrichtsgruppen im Hinblick auf Zusammenhänge zwischen der unterrichtlichen Experimentier Erfahrung und Größen, die in der Gesamtgruppe signifikante Zusammenhänge liefern**

Korrelationen

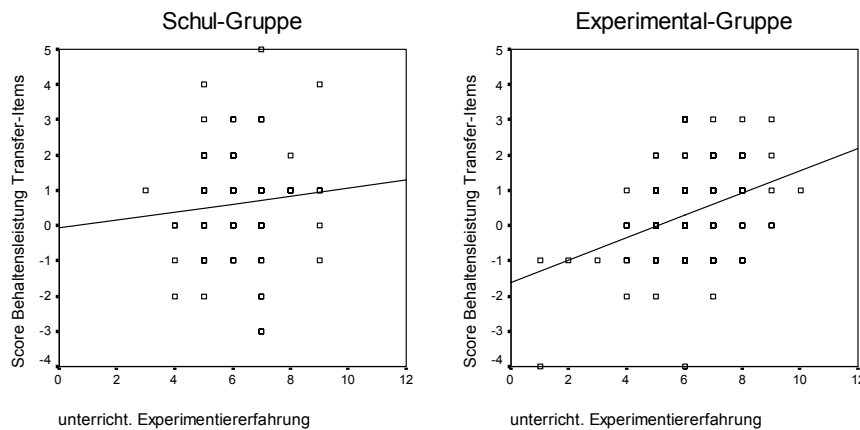
	Spearman-Rho Korrelationskoeffizient	Behaltensleistung	Wissenszuwachs Transfer	Behaltensleistung Transfer	persistenter Lernerfolg	Transfer Lernerfolg
Summe Experimentier Erfahrung Unterricht	Schule	,015	,060	,077	-,010	-,044
	Sig. (2-seitig)	,893	,593	,492	,932	,693
	N	81	81	81	81	81
	Labor	,173	,079	,105	,199	,053
	Sig. (2-seitig)	,164	,527	,400	,109	,671
	N	69	69	69	69	69
	Experimental-Gr.	,289	0,254	,299	,299	,232
	Sig. (2-seitig)	,001	,003	,000	,000	,006
N	138	138	138	138	138	

Korrelationen

	Spearman-Rho Korrelationskoeffizient	Transfer persist. Lernerfolg	Projektwissen BI	persist. Lernerfolg Projektwissen
--	--------------------------------------	------------------------------	------------------	-----------------------------------

Summe Experimentier- erfahrung Unterricht	Schule	,009	,014	-,009
	Sig. (2-seitig)	,934	,902	,939
	N	81	81	81
	Labor	,105	,136	,115
	Sig. (2-seitig)	,402	,275	,359
	N	69	69	69
	Experimental-Gr.	,306	,224	,234
	Sig. (2-seitig)	,000	,008	,006
N	138	138	138	

Die folgende Abbildung zeigt einen beispielhaften Vergleich zu Korrelationen zwischen der unterrichtlichen Experimentiererfahrung (Summe der Einschätzungen für den Unterricht in Biologie, Chemie u. Physik, fachbezogene Skalierung: 0 nie, 1 selten, 2 gelegentlich, 3 oft, 4 immer) und Lernleistungen mit der Anforderungsstufe Transfer: Behaltensleistung Transfer-Items (Score NT II – VT) in der Schul- und Experimental-Gruppe (Spearman-Rho: Schul-Gr.  $r = 0,077$ , Experimental-Gr.  $r = 0,299$ ).



## 7. Signifikante Zusammenhänge zwischen berechneten Größen und den vorherigen schulischen Leistungen

### 7.1 Wissensbestände

Externe Kontroll-Gr.: Die guten Schüler zeigen ein entsprechend hohes vorhandenes Wissen, das auch nach einer Woche noch nachweisbar ist. Zum Zeitpunkt der dritten Messung haben auch gute Schüler wesentliche Inhalte vergessen, so dass keine signifikante Korrelation mehr vorliegt.

Unterrichts-Gr.: Bis auf das vorhandene Wissen in der Schul-Gruppe gilt für alle Wissensbestände ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Höhe des Wissens und den schulischen Leistungen.

#### Korrelationen

schulische Leistung (schriftlich)	Spearman-Rho	Vorhandenes Wissen	aktuelles Wissen	persistentes Wissen
externe Ko.-	Korrelationskoeffizient	,538	,401	,232
	Sig. (2-seitig)	,001	,015	,172
	N	36	36	36
Schul-	Korrelationskoeffizient	,208	,491	,517
	Sig. (2-seitig)	,059	,000	,000
	N	83	83	83
Labor-	Korrelationskoeffizient	,276	,353	,397
	Sig. (2-seitig)	,023	,003	,001
	N	68	68	68
Experimental-Gr.	Korrelationskoeffizient	,336	,409	,444
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000
	N	138	138	138

### 7.2 Differenzgrößen

Aufgrund der signifikanten Vorwissenunterschiede sind jedoch nur Differenz- u. Lernerfolgsgrößen auswertbar.

#### Korrelationen

schulische	Spearman-	Wissens-	Behaltens-	Wissens-	Behaltens-	aktueller	persistenter
------------	-----------	----------	------------	----------	------------	-----------	--------------

Leistung (schriftlich)	Rho	zuwachs	leistung	zuwachs Transfer	leistung Transfer	Lernerfolg	Lernerfolg
externe Ko.-	Korrelationskoeffizient	-,080	-,326	-,201	-,213	-,020	-,307
	Sig. (2-seitig)	,644	,052	,241	,212	,910	,068
	N	36	36	36	36	36	36
Schul-	Korrelationskoeffizient	,357	,400	,249	,340	,408	,444
	Sig. (2-seitig)	,001	,000	,023	,002	,000	,000
	N	83	83	83	83	83	83
Labor-	Korrelationskoeffizient	,088	,114	,127	-,028	,179	,185
	Sig. (2-seitig)	,477	,355	,302	,821	,145	,132
	N	68	68	68	68	68	68
Experimenta- l-Gr.	Korrelationskoeffizient	,133	,183	,111	,050	,229	,223
	Sig. (2-seitig)	,121	,031	,193	,558	,007	,009
	N	138	138	138	138	138	138

## Korrelationen

schulische Leistung (schriftlich)	Spearman-Rho	Transfer aktueller Lernerfolg	Transfer persist. Lernerfolg	Projektwissen WZW	Projektwissen BI	aktueller Lernerfolg Projektwissen	persist. Lernerfolg Projektwissen
externe Ko.-	Korrelationskoeffizient	-,026	-,143	,194	-,068	,256	-,041
	Sig. (2-seitig)	,882	,405	,257	,694	,132	,811
	N	36	36	36	36	36	36
Schul-	Korrelationskoeffizient	,290	,367	,315	,292	,346	,288
	Sig. (2-seitig)	,008	,001	,004	,007	,001	,008
	N	83	83	83	83	83	83
Labor-	Korrelationskoeffizient	,090	-,058	,112	,130	,149	,140
	Sig. (2-seitig)	,463	,638	,363	,292	,224	,254
	N	68	68	68	68	68	68
Experimenta- l-Gr.	Korrelationskoeffizient	,150	,012	,200	,227	,254	,235
	Sig. (2-seitig)	,079	,886	,019	,007	,003	,005
	N	138	138	138	138	138	138

## 7.3 Vergleich der Unterrichtsgruppen im Hinblick auf die schulischen Leistungen

Vergleich über alle Gruppen: Kruskal-Wallis-Test (N = 289)

Statistik für Test

	schulische Leistung (schriftlich)
Chi-Quadrat	,855
df	2
Asymptotische Signifikanz	,652

## 8. Vergleich der Untersuchungsgruppen in der klassifizierenden Analyse

Die Veränderungen zwischen den einzelnen Messzeitpunkten werden wie für die Gesamtgruppe mit Hilfe von Kreuztabellen zur Dokumentation der Wanderungsbewegungen zwischen den latenten Klassen

( **Lerner** **Stagnierer** **Verlerner** ) dargestellt (vgl. Nerdel 2002, S. 53).

Die Zellen geben die absoluten Personenhäufigkeiten an.

## 8.1 Externe Kontroll-Gruppe

Wechsel Vortest zum Nachttest I

	Klassen	Nachttest I			Gesamt
		Wenig-Könner	Vorwissen-Könner	Viel-Könner	
Vortest	Wenig-Könner	15	3	1	19
	Vorwissen-Könner	3	6	1	10
	Viel-Könner	2	1	4	7
	Gesamt	20	10	6	36

Wechsel Nachttest I zum Nachttest II

	Nachttest I



	Klassen	Wenig-Köner	Vorwissen-Köner	Viel-Köner	Gesamt
Nachttest I	Wenig-Köner	18	2	0	20
	Vorwissen-Köner	6	3	1	10
	Viel-Köner	3	2	1	6
	Gesamt	27	7	2	36

Wechsel Vortest zum Nachttest II

		Nachttest II			
	Klassen	Wenig-Köner	Vorwissen-Köner	Viel-Köner	Gesamt
Vortest	Wenig-Köner	16	3	0	19
	Vorwissen-Köner	7	2	1	10
	Viel-Köner	4	2	1	7
	Gesamt	27	7	2	36

Relative Personenhäufigkeiten

Anteile an Lernern (für die Abkürzungen vgl. Tab. 35, Kap. V 5.1)

Anteile (A) an Lernern	Berechnung	VT - NT I	NT I – NT II	VT – NT II
insgesamt	$A_{ge} = (L1 + L2 + L3)/G$	0,14	0,11	0,11
bei der Aktualisierung von Vorwissen	$A_{Vw} = L1/G$	0,08	0,06	0,08
beim Erwerb von projektbezogenem Wissen mit vorhandenem Vorwissen	$A_{Pw} = L2/G$	0,03	0,03	0,03
bei der Aktualisierung von Vorwissen und dem Erwerb von projektbezogenem Wissen	$A_{Vw/Pw} = L3/G$	0,03	0	0

Anteile an Verlernern (für die Abkürzungen vgl. Tab. 35, Kap. V 5.1)

Anteile (A) an Verlernern	Berechnung	VT - NT I	NT I – NT II	VT – NT II
insgesamt	$A_{ge} = (V1 + V2 + V3)/G$	0,17	0,31	0,36
beim Vergessen von Vorwissen	$A_{Vw} = V1/G$	0,08	0,17	0,19
beim Vergessen von projektbezogenem Wissen mit bleibendem Vorwissen	$A_{Pw} = V2/G$	0,03	0,06	0,06
beim Vergessen von Vorwissen und projektbezogenem Wissen	$A_{Vw/Pw} = V3/G$	0,06	0,08	0,11

8.2 Schul-Gruppe

Wechsel Vortest zum Nachttest I

		Nachttest I			
	Klassen	Wenig-Köner	Vorwissen-Köner	Viel-Köner	Gesamt
Vortest	Wenig-Köner	34	5	30	69
	Vorwissen-Köner	0	1	11	12
	Viel-Köner	0	0	2	2
	Gesamt	34	6	43	83

Wechsel Nachttest I zum Nachttest II

		Nachttest I			
	Klassen	Wenig-Köner	Vorwissen-Köner	Viel-Köner	Gesamt
Nachttest I	Wenig-Köner	30	1	3	34
	Vorwissen-Köner	4	0	2	6
	Viel-Köner	17	5	21	43
	Gesamt	51	6	26	83

Wechsel Vortest zum Nachttest II

		Nachttest II			
	Klassen	Wenig-Köner	Vorwissen-Köner	Viel-Köner	Gesamt
Vortest	Wenig-Köner	47	5	17	69
	Vorwissen-Köner	3	1	8	12
	Viel-Köner	1	0	1	2
	Gesamt	51	6	26	83

## Relative Personenhäufigkeiten

Anteile an Lernern (für die Abkürzungen vgl. Tab. 35, Kap. V 5.1)

Anteile (A) an Lernern	Berechnung	VT - NT I	NT I – NT II	VT – NT II
insgesamt	$A_{ge} = (L1 + L2 + L3)/G$	0,55	0,07	0,36
bei der Aktualisierung von Vorwissen	$A_{Vw} = L1/G$	0,06	0,01	0,06
beim Erwerb von projektbezogenem Wissen mit vorhandenem Vorwissen	$A_{Pw} = L2/G$	0,13	0,02	0,10
bei der Aktualisierung von Vorwissen und dem Erwerb von projektbezogenem Wissen	$A_{Vw/Pw} = L3/G$	0,36	0,04	0,20

Anteile an Verlernern (für die Abkürzungen vgl. Tab. 35, Kap. V 5.1)

Anteile (A) an Verlernern	Berechnung	VT - NT I	NT I – NT II	VT – NT II
insgesamt	$A_{ge} = (V1 + V2 + V3)/G$	0	0,31	0,05
beim Vergessen von Vorwissen	$A_{Vw} = V1/G$	0	0,05	0,04
beim Vergessen von projektbezogenem Wissen mit bleibendem Vorwissen	$A_{Pw} = V2/G$	0	0,06	0
beim Vergessen von Vorwissen und projektbezogenem Wissen	$A_{Vw/Pw} = V3/G$	0	0,20	0,01

**8.3 Labor-Gruppe**

Wechsel Vortest zum Nachtest I

		Nachtest I			
	Klassen	Wenig-Könner	Vorwissen-Könner	Viel-Könner	Gesamt
Vortest	Wenig-Könner	17	2	35	54
	Vorwissen-Könner	1	2	9	12
	Viel-Könner	3	0	3	6
	Gesamt	21	4	47	72

Wechsel Nachtest I zum Nachtest II

		Nachtest I			
	Klassen	Wenig-Könner	Vorwissen-Könner	Viel-Könner	Gesamt
Nachtest I	Wenig-Könner	16	3	2	21
	Vorwissen-Könner	2	1	1	4
	Viel-Könner	18	11	18	47
	Gesamt	36	15	21	72

Wechsel Vortest zum Nachtest II

		Nachtest II			
	Klassen	Wenig-Könner	Vorwissen-Könner	Viel-Könner	Gesamt
Vortest	Wenig-Könner	32	10	12	54
	Vorwissen-Könner	1	3	7	11
	Viel-Könner	3	2	2	7
	Gesamt	36	15	21	72

## Relative Personenhäufigkeiten

Anteile an Lernern (für die Abkürzungen vgl. Tab. 35, Kap. V 5.1)

Anteile (A) an Lernern	Berechnung	VT - NT I	NT I – NT II	VT – NT II
insgesamt	$A_{ge} = (L1 + L2 + L3)/G$	0,64	0,08	0,40
bei der Aktualisierung von Vorwissen	$A_{Vw} = L1/G$	0,03	0,04	0,14
beim Erwerb von projektbezogenem Wissen mit vorhandenem Vorwissen	$A_{Pw} = L2/G$	0,13	0,01	0,11
bei der Aktualisierung von Vorwissen und dem Erwerb von projektbezogenem Wissen	$A_{Vw/Pw} = L3/G$	0,49	0,03	0,24

Anteile an Verlernern (für die Abkürzungen vgl. Tab. 35, Kap. V 5.1)

Anteile (A) an Verlernern	Berechnung	VT - NT I	NT I – NT II	VT – NT II
insgesamt	$A_{ge} = (V1 + V2 + V3)/G$	0,06	0,43	0,08
beim Vergessen von Vorwissen	$A_{Vw} = V1/G$	0,01	0,03	0,04

beim Vergessen von projektbezogenem Wissen mit bleibendem Vorwissen	$A_{Pw} = V2/G$	0	0,15	0
beim Vergessen von Vorwissen und projektbezogenem Wissen	$A_{Vw/Pw} = V3/G$	0,04	0,25	0,01

### 8.4 Experimental-Gruppe

#### Wechsel Vortest zum Nachtest I

		Nachtest I			
	Klassen	Wenig-Köner	Vorwissen-Köner	Viel-Köner	Gesamt
Vortest	Wenig-Köner	22	1	65	88
	Vorwissen-Köner	3	2	37	42
	Viel-Köner	0	0	16	16
	Gesamt	25	3	118	146

#### Wechsel Nachtest I zum Nachtest II

		Nachtest I			
	Klassen	Wenig-Köner	Vorwissen-Köner	Viel-Köner	Gesamt
Nachtest I	Wenig-Köner	18	4	3	25
	Vorwissen-Köner	3	0	0	3
	Viel-Köner	39	14	65	118
	Gesamt	60	18	68	146

#### Wechsel Vortest zum Nachtest II

		Nachtest II			
	Klassen	Wenig-Köner	Vorwissen-Köner	Viel-Köner	Gesamt
Vortest	Wenig-Köner	47	9	32	89
	Vorwissen-Köner	10	7	25	42
	Viel-Köner	3	2	11	16
	Gesamt	60	18	68	146

#### Relative Personenhäufigkeiten

Anteile an Lernern (für die Abkürzungen vgl. Tab. 35, Kap. V 5.1)

Anteile (A) an Lernern	Berechnung	VT - NT I	NT I - NT II	VT - NT II
insgesamt	$A_{ge} = (L1 + L2 + L3)/G$	0,71	0,05	0,45
bei der Aktualisierung von Vorwissen	$A_{Vw} = L1/G$	0,01	0,03	0,06
beim Erwerb von projektbezogenem Wissen mit vorhandenem Vorwissen	$A_{Pw} = L2/G$	0,25	0	0,17
bei der Aktualisierung von Vorwissen und dem Erwerb von projektbezogenem Wissen	$A_{Vw/Pw} = L3/G$	0,45	0,02	0,22

Anteile an Verlernern (für die Abkürzungen vgl. Tab. 35, Kap. V 5.1)

Anteile (A) an Verlernern	Berechnung	VT - NT I	NT I - NT II	VT - NT II
insgesamt	$A_{ge} = (V1 + V2 + V3)/G$	0,02	0,38	0,10
beim Vergessen von Vorwissen	$A_{Vw} = V1/G$	0,02	0,02	0,07
beim Vergessen von projektbezogenem Wissen mit bleibendem Vorwissen	$A_{Pw} = V2/G$	0	0,10	0,01
beim Vergessen von Vorwissen und projektbezogenem Wissen	$A_{Vw/Pw} = V3/G$	0	0,27	0,02

### 8.5 Überprüfung der Verteilung der Klassenwechsler auf die einzelnen Untersuchungsgruppen

#### Kreuztabelle

Gruppen		Wechsel VT/NT			Wechsel NT I/NT II			Gesamt
		Verlerner	Stagnierer	Lerner	Verlerner	Stagnierer	Lerner	
externe Ko.-	Anzahl	6	25	5	11	22	3	36
	Erwartete Anzahl	1,4	13,2	21,4	13,2	20,4	2,4	36,0
Schul-	Anzahl	0	37	46	26	51	6	83
	Erwartete Anzahl	3,2	30,5	49,3	30,	47,0	5,4	83,0

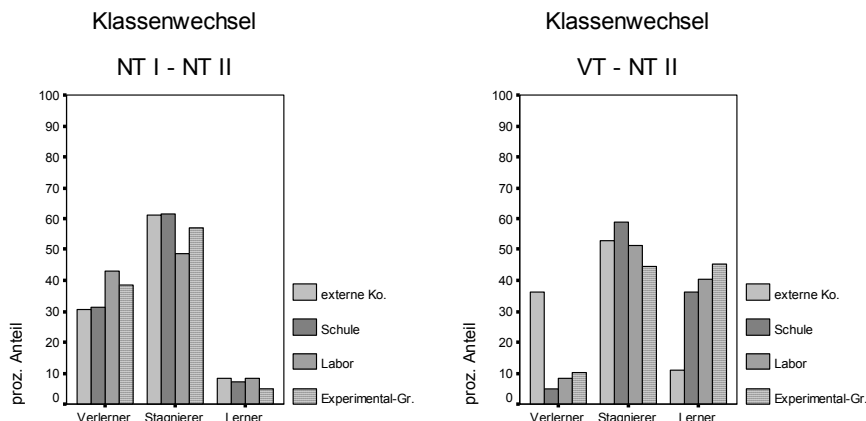
Labor-	Anzahl	4	22	46	31	35	6	72
	Erwartete Anzahl	2,8	26,5	42,7	26,5	40,8	4,7	72,0
Experimental-Gr.	Anzahl	3	40	103	56	83	7	146
	Erwartete Anzahl	5,6	53,7	86,6	53,7	82,7	9,5	146,0
Gesamt	Anzahl	13	124	200	124	191	22	337
	Erwartete Anzahl	13,0	124,0	200,0	124,0	191,0	22,0	337,0

## Kreuztabelle

Gruppen		Wechsel VT/NT II			Gesamt
		Verlerner	Stagnierer	Lerner	
externe Ko.	Anzahl	13	19	4	36
	Erwartete Anzahl	4,1	18,2	13,8	36,0
Schule	Anzahl	4	49	30	83
	Erwartete Anzahl	9,4	41,9	31,8	83,0
Labor	Anzahl	6	37	29	72
	Erwartete Anzahl	8,1	36,3	27,6	72,0
Experimental-Gr.	Anzahl	15	65	66	146
	Erwartete Anzahl	16,5	73,6	55,9	146,0
Gesamt	Anzahl	38	170	129	337
	Erwartete Anzahl	38,0	170,0	129,0	337,0

## Chi-Quadrat-Tests (Gesamt jeweils N = 337)

Exakter Test nach Fisher	VT – NT I	NT I – NT II	VT – NT II
Wert	49,900	4,852	29,958
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,000	,562	,000



Die Verteilung der Wechsler vom NT I zum NT II weicht nicht signifikant von der Erwartung ab, die Verteilung beim Wechsel VT zum NT II ist zwar statistisch bedeutsam, allerdings beruht der Unterschied über alle Gruppen nur auf den Unterschieden der externen Kontroll-Gruppe zu den Unterrichtsgruppen, zwischen diesen treten keine statistisch bedeutsamen Abweichungen auf (vgl. 8.6.2).

## 8.6 Paarweise Vergleiche der Untersuchungsgruppen

## 8.6.1 Wechsel VT – NT I:

## Kreuztabelle

Gruppen		Verlerner	Stagnierer	Lerner	Gesamt
externe Ko.-	Anzahl	6	25	5	36
	Erwartete Anzahl	1,8	18,8	15,4	36,0
Schul-	Anzahl	0	37	46	83
	Erwartete Anzahl	4,2	43,2	35,6	83,0
Gesamt	Anzahl	6	62	51	119
	Erwartete Anzahl	6,0	62,0	51,0	119,0
externe Ko.-	Anzahl	6	25	5	36
	Erwartete Anzahl	3,3	15,7	17,0	36,0
Labor-	Anzahl	4	22	46	72
	Erwartete Anzahl	6,7	31,3	34,0	72,0

Gesamt	Anzahl	10	47	51	108
	Erwartete Anzahl	10,0	47,0	51,0	108,0
externe Ko.-	Anzahl	6	25	5	36
	Erwartete Anzahl	1,8	12,9	21,4	36,0
Experimental-	Anzahl	3	40	103	146
	Erwartete Anzahl	7,2	52,1	86,6	146,0
Gesamt	Anzahl	9	65	108	182
	Erwartete Anzahl	9,0	65,0	108,0	182,0
Schul-	Anzahl	0	37	46	83
	Erwartete Anzahl	2,1	31,6	49,3	83,0
Labor-	Anzahl	4	22	46	72
	Erwartete Anzahl	1,9	27,4	42,7	72,0
Gesamt	Anzahl	4	59	92	155
	Erwartete Anzahl	4,0	59,0	92,0	155,0
Schul-	Anzahl	0	37	46	83
	Erwartete Anzahl	1,1	27,9	54,0	83,0
Experimental-	Anzahl	3	40	103	146
	Erwartete Anzahl	1,9	49,1	95,0	146,0
Gesamt	Anzahl	3	77	149	229
	Erwartete Anzahl	3,0	77,0	149,0	229,0
Labor-	Anzahl	4	22	46	72
	Erwartete Anzahl	2,3	20,5	49,2	72,0
Experimental-Gr.	Anzahl	3	40	103	146
	Erwartete Anzahl	4,7	41,5	99,8	146,0
Gesamt	Anzahl	7	62	149	218
	Erwartete Anzahl	7,0	62,0	149,0	218,0

## Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	extern vs. Schule	extern vs. Labor	extern vs. Experimental-Gr.	Schule vs. Labor	Schule vs. Experimental-Gr.	Labor vs. Experimental-Gr.
Wert	26,786	25,706	42,026	6,742	7,624	2,375
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	0,022	0,013	0,290
Anzahl der gültigen Fälle	119	108	182	155	229	218

## 8.6.2 Wechsel VT – NT II:

## Kreuztabelle

Gruppen		Verlerner	Stagnierer	Lerner	Gesamt
externe Ko.-	Anzahl	13	19	4	36
	Erwartete Anzahl	5,1	20,6	10,3	36,0
Schul-	Anzahl	4	49	30	83
	Erwartete Anzahl	11,9	47,4	23,7	83,0
Gesamt	Anzahl	17	68	34	119
	Erwartete Anzahl	17,0	68,0	34,0	119,0
externe Ko.-	Anzahl	13	19	4	36
	Erwartete Anzahl	6,3	18,7	11,0	36,0
Labor-	Anzahl	6	37	29	72
	Erwartete Anzahl	12,7	37,3	22,0	72,0
Gesamt	Anzahl	19	56	33	108
	Erwartete Anzahl	19,0	56,0	33,0	108,0
externe Ko.-	Anzahl	13	19	4	36
	Erwartete Anzahl	5,5	16,6	13,8	36,0
Experimental-	Anzahl	15	65	66	146
	Erwartete Anzahl	22,5	67,4	56,2	146,0
Gesamt	Anzahl	28	84	70	182
	Erwartete Anzahl	28,0	84,0	70,0	182,0
Schul-	Anzahl	4	49	30	83
	Erwartete Anzahl	5,4	46,1	31,6	83,0
Labor-	Anzahl	6	37	29	72
	Erwartete Anzahl	4,6	39,9	27,4	72,0
Gesamt	Anzahl	10	86	59	155
	Erwartete Anzahl	10,0	86,0	59,0	155,0
Schul-	Anzahl	4	49	30	83
	Erwartete Anzahl	6,9	41,3	34,8	83,0

Experimental-	Anzahl	15	65	66	146
	Erwartete Anzahl	12,1	72,7	61,2	146,0
Gesamt	Anzahl	19	114	96	229
	Erwartete Anzahl	19,0	114,0	96,0	229,0
Labor-	Anzahl	6	37	29	72
	Erwartete Anzahl	6,9	33,7	31,4	72,0
Experimental-Gr.	Anzahl	15	65	66	146
	Erwartete Anzahl	14,1	68,3	63,6	146,0
Gesamt	Anzahl	21	102	95	218
	Erwartete Anzahl	21,0	102,0	95,0	218,0

## Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Externe Ko.- vs. Schul-	Externe Ko.- vs. Labor-	Externe Ko.- vs. Experimental-	Schul- vs. Labor-	Schul- vs. Experimental-	Labor- vs. Experimental-Gr.
Wert	21,320	16,994	21,408	1,33	5,023	,906
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,502	,079	,658
Anzahl der gültigen Fälle	119	108	182	155	229	218

### 8.7 Überprüfung auf Abweichung der Verteilung der Lernertypen Vorwissen-, Projektwissen- und Gesamtlerner von der erwarteten Verteilung in den Untersuchungsgruppen

Für diese Überprüfung wurden die jeweils anderen Schülergruppen zu einer Gegenkategorie zusammengefasst und dem zu testenden Lernertyp gegenübergestellt.

## 8.7.1 Vergleich über alle Gruppen: Kreuztabelle

Lernertyp	Gruppen	Vorwissen-Lerner		Projektwissen-Lerner		Gesamt-Lerner		Gesamt
		kein Vorwissen-Lerner	Vorwissen-Lerner	Kein Projektwissen-Lerner	Projektwissen-Lerner	Kein Gesamt-Lerner	Gesamt-Lerner	
externe Ko.-	Anzahl	33	3	35	1	35	1	36
	Erwartete Anzahl	34,8	1,2	29,8	6,2	22,0	14,0	36,0
Schul-	Anzahl	78	5	72	11	53	30	83
	Erwartete Anzahl	80,3	2,7	68,7	14,3	50,7	32,3	83,0
Labor-	Anzahl	70	2	63	9	37	35	72
	Erwartete Anzahl	69,6	2,4	59,6	12,4	44,0	28,0	72,0
Experimental-Gr.	Anzahl	145	1	109	37	81	65	146
	Erwartete Anzahl	141,2	4,8	120,9	25,1	89,2	56,8	146,0
Gesamt	Anzahl	326	11	279	58	206	131	337
	Erwartete Anzahl	326,0	11,0	279,0	58,0	206,0	131,0	337,0

## Chi-Quadrat-Tests

Exakter Test nach Fisher	Vorwissen-Lerner	Projektwissen-Lerner	Gesamt-Lerner
Wert	8,343	14,229	30,269
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,020	,002	,000
Anzahl der gültigen Fälle	119	182	229

## 8.7.2 Paarweise Vergleiche: Kreuztabelle

Gruppen		Kein Vorwissen-Lerner	Vorwissen-Lerner	Kein Projektwissen-Lerner	Projektwissen-Lerner	Kein Gesamt-lerner	Gesamt-lerner	Gesamt
externe Ko.-	Anzahl	33	3	35	1	35	1	36
	Erwartete Anzahl	33,6	2,4	32,4	3,6	26,6	9,4	36,0
Schul-	Anzahl	78	5	72	11	53	30	83
	Erwartete	77,4	5,6	74,6	8,4	61,4	21,6	83,0

	Anzahl							
Gesamt	Anzahl	111	8	107	12	88	31	119
	Erwartete Anzahl	111,0	8,0	107,0	12,0	88,0	31,0	119,0
externe Ko.-	Anzahl	33	3	35	1	35	1	36
	Erwartete Anzahl	34,3	1,7	32,7	3,3	24,0	12,0	36,0
Labor--	Anzahl	70	2	63	9	37	35	72
	Erwartete Anzahl	68,7	3,3	65,3	6,7	48,0	24,0	72,0
Gesamt	Anzahl	103	5	98	10	72	36	108
	Erwartete Anzahl	103,0	5,0	98,0	10,0	72,0	36,0	108,0
externe Ko.-	Anzahl	33	3	35	1	35	1	36
	Erwartete Anzahl	35,2	,8	28,5	7,5	22,9	13,1	36,0
Experimental-	Anzahl	145	1	109	37	81	65	146
	Erwartete Anzahl	142,8	3,2	115,5	30,5	93,1	52,9	146,0
Gesamt	Anzahl	178	4	144	38	116	66	182
	Erwartete Anzahl	178,0	4,0	144,0	38,0	116,0	66,0	182,0
Schul-	Anzahl	78	5	72	11	53	30	83
	Erwartete Anzahl	79,3	3,7	72,3	10,7	48,2	34,8	83,0
Labor-	Anzahl	70	2	63	9	37	35	72
	Erwartete Anzahl	68,7	3,3	62,7	9,3	41,8	30,2	72,0
Gesamt	Anzahl	148	7	135	20	90	65	155
	Erwartete Anzahl	148,0	7,0	135,0	20,0	90,0	65,0	155,0
Schul-	Anzahl	78	5	72	11	53	30	83
	Erwartete Anzahl	80,8	2,2	65,6	17,4	48,6	34,4	83,0
Experimental-Gr.	Anzahl	145	1	109	37	81	65	146
	Erwartete Anzahl	142,2	3,8	115,4	30,6	85,4	60,6	146,0
Gesamt	Anzahl	223	6	181	48	134	95	229
	Erwartete Anzahl	223,0	6,0	181,0	48,0	134,0	95,0	229,0
Labor-	Anzahl	70	2	63	9	37	35	72
	Erwartete Anzahl	71,0	1,0	56,8	15,2	39,0	33,0	72,0
Experimental-Gr.	Anzahl	145	1	109	37	81	65	146
	Erwartete Anzahl	144,0	2,0	115,2	30,8	79,0	67,0	146,0
Gesamt	Anzahl	215	3	172	46	118	100	218
	Erwartete Anzahl	215,0	3,0	172,0	46,0	118,0	100,0	218,0

Chi-Quadrat-Tests

Vorwissen-Lerner

Exakter Test nach Fisher	Externe Ko.- vs. Schul-	Externe Ko.- vs. Labor-	Externe Ko.- vs. Experimental-	Schul- vs. Labor-	Schul- vs. Experimental-	Labor- vs. Experimental-Gr.
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,697	,331	,025	,451	,025	,254
Anzahl der gültigen Fälle	119	108	182	155	229	218

Chi-Quadrat-Tests

Projektwissen-Lerner

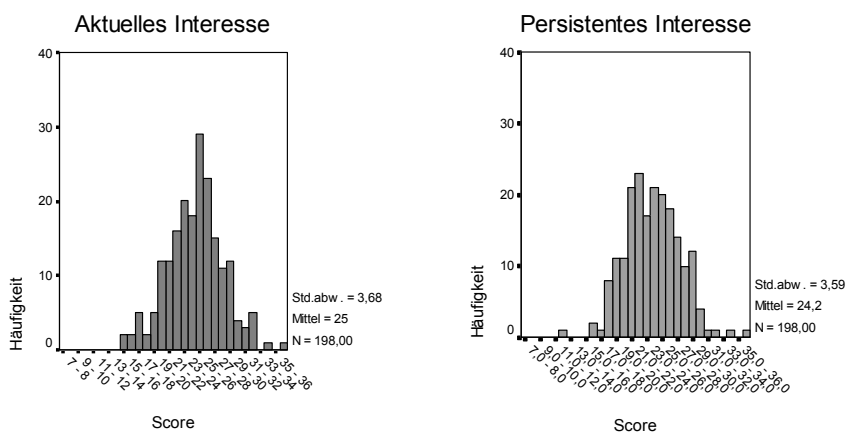
Exakter Test	Externe Ko.-	Externe Ko.-	Externe Ko.- vs.	Schul- vs.	Schul- vs.	Labor- vs.
--------------	--------------	--------------	------------------	------------	------------	------------

nach Fisher	vs. Schul-	vs. Labor-	Experimental-	Labor-	Experimental-	Experimental-Gr.
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,104	,160	,002	1,000	,042	,034
Anzahl der gültigen Fälle	119	108	182	155	229	218

Chi-Quadrat-Tests  
Gesamtlerner

Exakter Test nach Fisher	Externe Ko.- vs. Schul-	Externe Ko.- vs. Labor-	Externe Ko.- vs. Experimental-	Schul- vs. Labor-	Schul- vs. Experimental-	Labor- vs. Experimental-Gr.
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,142	,264	,665
Anzahl der gültigen Fälle	119	108	182	155	229	218

**Anhang 62: Ergebnisse zum Interesse in der Gesamtgruppe**  
**1.1 Antworttendenzen des aktuellen und persistenten Interesses**



Dargestellt ist jeweils der Bereich zwischen dem Minimal- und dem Maximalwert.

**1.2 Vergleich des Interesses über die drei Messzeitpunkte**

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	198
Chi-Quadrat	19,088
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Wilcoxon-Test:

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 198)

	Aktuelles – vorhandenes Interesse	Persistentes – vorhandenes Interesse	Persistentes - Aktuelles Interesse
Z	-1,731	-4,117	-3,220
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,083	,000	,001

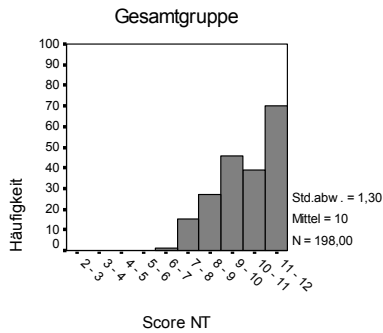
**2. Vergleich der Interessensfaktoren**

**2.1. Faktor Interesse an gentechnischen Anwendungen beim Menschen**

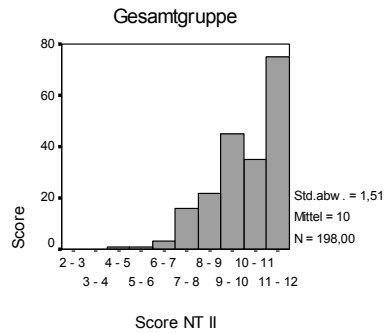
2.1.1. Die Antworttendenzen beim NT und beim NT II zeigen ausgeprägte Deckeneffekte. Im NT liegen alle und im NT II 98,5 % der Schüler über dem für 50 % des maximal erreichbaren Scores.



Interesse an Anwendungen  
der Gentechnik beim Menschen



Interesse an Anwendungen  
der Gentechnik beim Menschen



Dargestellt ist jeweils der Bereich zwischen dem Minimal- und dem Maximalwert.

2.1.2 Vergleich über die drei Messzeitpunkte

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	198
Chi-Quadrat	13,237
df	2
Asymptotische Signifikanz	,001

Wilcoxon-Test:

Statistik für Test Ränge (Gesamt jeweils N = 198)

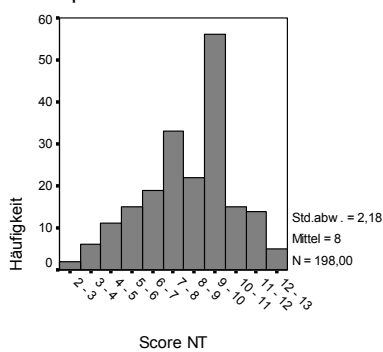
	VT – NT	VT – NT II	NT – NT II
Z	-3,625	-3,452	-,232
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,001	,817

2.2.Faktor Interesse an ethischen Aspekten der Gentechnik

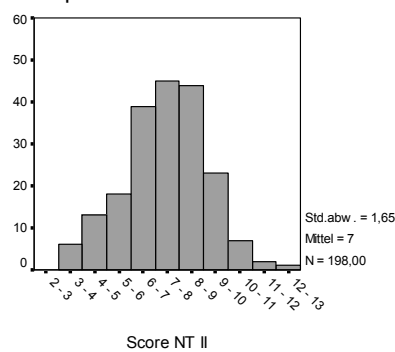
2.2.1 Antworttendenzen

Die Antworttendenzen beim NT zeigt eine leichte Tendenz nach oben, während beim NT II die Tendenz zentral ist.

Interesse an ethischen  
Aspekten der Gentechnik



Interesse an ethischen  
Aspekten der Gentechnik



2.2.2 Vergleich über die drei Messzeitpunkte

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	198
Chi-Quadrat	38,946
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Wilcoxon-Test:

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 198)

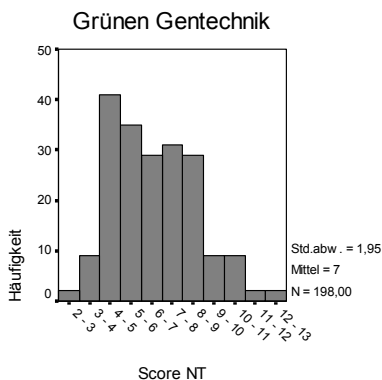
	VT – NT I	VT – NT II	NT I – NT II
Z	-1,721	-4,262	-5,779
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,085	,000	,000

### 2.3 Faktor Interesse an Anwendungen der Grünen Gentechnik

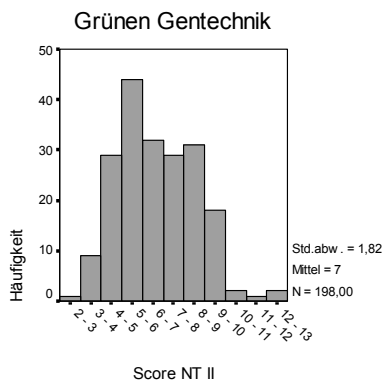
#### 2.3.1 Antworttendenzen

Die Antworttendenzen zeigen bei beiden Nachtests einen Bodeneffekt.

Interesse an Anwendungen der



Interesse an Anwendungen der



#### 2.2.2 Vergleich über die drei Messzeitpunkte

Friedman-Test:

Ränge

Statistik für Test

N	198
Chi-Quadrat	5,790
df	2
Asymptotische Signifikanz	,055

### 3. Geschlechtsspezifische Unterschiede in der Gesamtgruppe

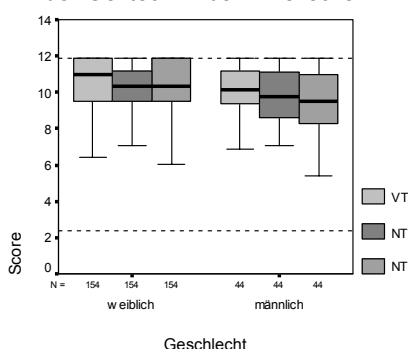
Im Hinblick auf das Interesse insgesamt lassen sich im Vortest signifikante Unterschiede feststellen (vgl. unten 3.1), für den Faktor Interesse an Anwendungen beim Menschen im Vortest und Nachtest II, für den Faktor Interesse an ethischen Aspekten im Vortest und Nachtest I und für den Faktor Interesse an Anwendungen der Grünen Gentechnik zu keinem Messzeitpunkt vgl. unten 3.2 bis 3.4).

#### 3.1 Interesse

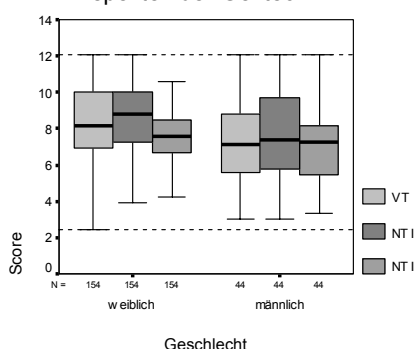
Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 198)

	Vorhandenes Interesse	Aktuelles Interesse	Persistentes Interesse
Mann-Whitney-U	2417,000	2751,000	2923,000
Z	-2,897	-1,900	-1,387
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,004	,057	,165

Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen



Interesse an ethischen Aspekten der Gentechnik



Geschlechtsspezifische Unterschiede im Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen und zu ethischen Aspekten: Faktoren-Scores zu den drei Messzeitpunkten (die Linien geben jeweils den minimalen u. maximalen Wert an)

#### 3.2 Interesse an Anwendungen beim Menschen

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 198)

	Vortest	Nachtest I	Nachtest II
--	---------	------------	-------------

Mann-Whitney-U	2553,500	2767,000	2379,500
Z	-2,527	-1,867	-3,041
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,012	,062	,002

### 3.3 Interesse an ethischen Aspekten

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 198)

	Vortest	Nachtest I	Nachtest II
Mann-Whitney-U	2282,500	2595,000	2990,000
Z	-3,302	-2,371	-1,191
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,001	,018	,234

### 3.4 Interesse an Anwendungen der Grünen Gentechnik

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 198)

	Vortest	Nachtest I	Nachtest II
Mann-Whitney-U	3021,000	3003,000	2978,500
Z	-1,097	-1,151	-1,225
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,273	,250	,221

### 3.5 Teilgruppen Mädchen und Jungen

#### 3.5.1 Gesamtskala Interesse

Vergleich über die drei Messzeitpunkte

Friedman-Test:

Statistik für Test

	Mädchen	Jungen
N	154	44
Chi-Quadrat	16,613	3,907
df	2	2
Asymptotische Signifikanz	,000	,142

Wilcoxon-Test in der Teilgruppe Mädchen

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 154)

	Aktuelles – vorhandenes Interesse	Persistentes – vorhandenes Interesse	Persistentes - Aktuelles Interesse
Z	-2,287	-4,106	-2,806
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,022	,000	,005

#### 3.5.2 Faktor Interesse an Anwendungen beim Menschen

Vergleich über die drei Messzeitpunkte

Friedman-Test:

Statistik für Test

	Mädchen	Jungen
N	154	44
Chi-Quadrat	14,069	2,959
df	2	2
Asymptotische Signifikanz	,001	,228

Wilcoxon-Test in der Teilgruppe Mädchen

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 154)

	Aktuelles – vorhandenes Interesse	Persistentes – vorhandenes Interesse	Persistentes - Aktuelles Interesse
Z	-3,482	-2,891	-,602
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,004	,547

#### 3.5.3 Faktor Interesse an ethischen Aspekten

Vergleich über die drei Messzeitpunkte

Friedman-Test:

Statistik für Test

	Mädchen	Jungen
N	154	44
Chi-Quadrat	39,813	4,138
df	2	2
Asymptotische Signifikanz	,000	,126

Wilcoxon-Test in der Teilgruppe Mädchen

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 198)

	Aktuelles – vorhandenes	Persistentes – vorhandenes	Persistentes - Aktuelles
--	-------------------------	----------------------------	--------------------------

	Interesse	Interesse	Interesse
Z	-,899	-4,994	-5,824
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,368	,000	,000

### 3.5.4 Faktor Interesse an Anwendungen der Grünen Gentechnik

Vergleich über die drei Messzeitpunkte

Friedman-Test:

Statistik für Test

	Mädchen	Jungen
N	154	44
Chi-Quadrat	39,813	4,138
df	2	2
Asymptotische Signifikanz	,000	,126

### 4. Schulzweigspezifische Unterschiede in der Teilgruppe der Mädchen

Aufgrund der unterschiedlichen Wertung der Naturwissenschaften wird der mathematisch-naturwissenschaftliche Zweig den anderen Schulzweigen gegenübergestellt (nur dort verpflichtende Schülerübungen in Chemie und Physik)

#### 4.1 gesamte Interessen-Skala

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 151)

	Vorhandenes Interesse	Aktuelles Interesse	Persistentes Interesse
Mann-Whitney-U	2225,500	2401,500	1994,000
Z	-1,087	-,388	-2,007
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,277	,698	,045

#### 4.2 Interesse an Anwendungen beim Menschen

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 151)

	Vorhandenes Interesse	Aktuelles Interesse	Persistentes Interesse
Mann-Whitney-U	2380,500	2497,000	2274,500
Z	-,480	-,008	-,904
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,631	,994	,366

#### 4.3 Interesse an ethischen Aspekten

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 198)

	Vorhandenes Interesse	Aktuelles Interesse	Persistentes Interesse
Mann-Whitney-U	2291,500	2116,500	1858,000
Z	-,826	-1,525	-2,556
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,409	,127	,011

#### 4.4 Teilgruppe nicht-MNG

Vergleich über die drei Messzeitpunkte

##### 4.4.1 Gesamtes Interesse

Friedman-Test:

Statistik für Test

	Nicht-MNG	MNG
N	102	49
Chi-Quadrat	16,586	3,169
df	2	2
Asymptotische Signifikanz	,000	,205

Wilcoxon-Test in der Teilgruppe nicht-MNG

Statistik für Test (gesamt jeweils N = 102)

	Aktuelles Interesse – vorhandenes Interesse	Persistentes Interesse – vorhandenes Interesse	Persistentes Interesse - Aktuelles Interesse
Z	-2,253	-3,596	-1,960
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,024	,000	,050

##### 4.4.2 Interesse an ethischen Aspekten

Friedman-Test:

Statistik für Test

	Nicht-MNG	MNG
N	102	49
Chi-Quadrat	25,623	14,411
df	2	2
Asymptotische Signifikanz	,000	,001

Wilcoxon-Tests  
Statistik für Test

Schulzweig	Nicht-MNG			MNG		
	VT – NT I	VT – NT II	NT I – NT II	VT – NT I	VT – NT II	NT I – NT II
Z	-,869	-4,008	-4,826	-,024	-3,083	-3,266
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,385	,000	,000	,981	,002	,001

**5. Signifikante Zusammenhänge zwischen den Interessevariablen und der unterrichtlichen Experimentiererfahrung in der Teilgruppe der Mädchen**

Korrelationen (Probandenzahl jeweils N = 144)

	Spearman-Rho	Vorhandenes Interesse	Aktuelles Interesse	Interesse an Anwendungen beim Menschen		
				VT	NT I	NT II
Summe eigene Experimentiererfahrung	Korrelationskoeffizient	,218	,192	,328	,237	,167
	Sig. (2-seitig)	,009	,021	,000	,004	,046

**Anhang 63: Ergebnisse zum Subtest Interesse in den Untersuchungsgruppen**

**1.1 Vergleich des gesamten Interesses über die drei Messzeitpunkte in der Teilgruppe Mädchen**

1.1.1 Externe Kontrollgruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	17
Chi-Quadrat	1,412
df	2
Asymptotische Signifikanz	,494

1.1.2 Schul-Gruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	38
Chi-Quadrat	1,364
df	2
Asymptotische Signifikanz	,506

1.1.3 Labor-Gruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	36
Chi-Quadrat	1,357
df	2
Asymptotische Signifikanz	,507

1.1.4 Experimental-Gruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	63
Chi-Quadrat	26,494
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Wilcoxon-Test:

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 63)

	Aktuelles – vorhandenes Interesse	Persistentes – vorhandenes Interesse	Persistentes - Aktuelles Interesse
Z	-3,817	-4,748	-2,128
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,033

**1.2 Vergleich des gesamten Interesses über die drei Messzeitpunkte in der Teilgruppe Mädchen/nicht-MNG**

1.2.1 Externe Kontrollgruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	10
---	----

Chi-Quadrat	,800
df	2
Asymptotische Signifikanz	,670

## 1.2.2 Schul-Gruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	29
Chi-Quadrat	4,122
df	2
Asymptotische Signifikanz	,127

## 1.2.3 Labor-Gruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	26
Chi-Quadrat	,538
df	2
Asymptotische Signifikanz	,764

## 1.2.4 Experimental-Gruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	37
Chi-Quadrat	16,204
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Wilcoxon-Test:

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 37)

	Aktuelles – vorhandenes Interesse	Persistentes – vorhandenes Interesse	Persistentes - Aktuelles Interesse
Z	-2,874	-3,545	-,691
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,004	,000	,489

**1.3 Vergleich des Interesses an Anwendungen beim Menschen über die drei Messzeitpunkte in der Teilgruppe Mädchen**

## 1.3.1 Externe Kontrollgruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	17
Chi-Quadrat	,737
df	2
Asymptotische Signifikanz	,692

## 1.3.2 Schul-Gruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	38
Chi-Quadrat	5,235
df	2
Asymptotische Signifikanz	,073

## 1.3.3 Labor-Gruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	36
Chi-Quadrat	,050
df	2
Asymptotische Signifikanz	,975

## 1.3.4 Experimental-Gruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	63
Chi-Quadrat	13,921
df	2
Asymptotische Signifikanz	,001

Wilcoxon-Test:

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 63)

	Aktuelles – vorhandenes Interesse	Persistentes – vorhandenes Interesse	Persistentes Aktuelles Interesse
Z	-3,908	-2,941	-1,297
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,003	,195

**1.4 Vergleich des Interesses an ethischen Aspekten über die drei Messzeitpunkte in der Teilgruppe Mädchen**

1.4.1 Externe Kontrollgruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	17
Chi-Quadrat	,933
df	2
Asymptotische Signifikanz	,627

1.4.2 Schul-Gruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	38
Chi-Quadrat	8,865
df	2
Asymptotische Signifikanz	,012

Wilcoxon-Test:

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 38)

	Aktuelles – vorhandenes Interesse	Persistentes – vorhandenes Interesse	Persistentes - Aktuelles Interesse
Z	-1,935	-1,247	-3,036
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,053	,212	,002

1.4.3 Labor-Gruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	36
Chi-Quadrat	12,788
df	2
Asymptotische Signifikanz	,002

Wilcoxon-Test:

Statistik für Test (gesamt jeweils N = 36)

	Aktuelles – vorhandenes Interesse	Persistentes – vorhandenes Interesse	Persistentes - Aktuelles Interesse
Z	-2,403	-2,265	-3,460
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,016	,024	,001

1.4.4 Experimental-Gruppe

Friedman-Test:

Statistik für Test

N	63
Chi-Quadrat	28,179
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Wilcoxon-Test:

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 63)

	Aktuelles – vorhandenes Interesse	Persistentes – vorhandenes Interesse	Persistentes - Aktuelles Interesse
Z	-1,884	-4,314	-3,758
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,060	,000	,000

**2.1 Vergleich der weiblichen Untersuchungsgruppen in Bezug auf das Gesamtinteresse zu den drei Messzeitpunkten**

2.1.1 Vergleich über alle Gruppen: Kruskal-Wallis-Test

Statistik für Test(Gesamt jeweils N = 154)

	Vorhandenes Interesse	Aktuelles Interesse	Persistentes Interesse
--	-----------------------	---------------------	------------------------

Chi-Quadrat	12,689	,632	1,057
df	3	3	3
Asymptotische Signifikanz	,005	,889	,787

## 2.1.2 Paarweise Tests zum vorhandenen Interesse:

## Mann-Whitney-Tests

## Statistik für Test

	Externe Ko. vs. Schule	Externe Ko. vs. Labor	Externe Ko. vs. Experimental-Gr.
Mann-Whitney-U	310,000	289,500	375,000
Z	-,237	-,314	-1,888
Asymptotische Signifikanz	,813	,753	,059

## Statistik für Test

	Schule vs. Labor	Schule vs. Experimental-Gr.	Labor vs. Experimental-Gr.
Mann-Whitney-U	647,000	812,500	717,500
Z	-,400	-2,695	-3,030
Asymptotische Signifikanz	,689	,007	,002

Die Werte in der Experimental-Gruppe sind signifikant höher als in den beiden nicht experimentellen Unterrichtsgruppen.

## 2.2 Vergleich der weiblichen Untersuchungsgruppen in Bezug auf das Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen zu den drei Messzeitpunkten

## 2.2.1 Vergleich über alle Gruppen: Kruskal-Wallis-Test

## Statistik für Test

	VT	NT I	NT II
Chi-Quadrat	17,833	4,467	3,672
df	3	3	3
Asymptotische Signifikanz	,000	,215	,299

## 2.2.2 Paarweise Tests zum Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen

## Mann-Whitney-Tests

## Statistik für Test

	Externe Ko.- vs. Schul-	Externe Ko.- vs. Labor-	Externe Ko.- vs. Experimental-Gr.
Mann-Whitney-U	321,000	220,500	431,000
Z	-,037	-1,639	-1,274
Asymptotische Signifikanz	,970	,101	,203

## Mann-Whitney-Tests

## Statistik für Test

	Schul- vs. Labor-	Schul- vs. Experimental-Gr.	Labor- vs. Experimental-Gr.
Mann-Whitney-U	479,000	1003,500	543,000
Z	-2,237	-1,405	-4,366
Asymptotische Signifikanz	,025	,160	,000

Die Werte in der Labor-Gruppe sind signifikant niedriger als in den beiden anderen Unterrichtsgruppen.

## 2.3 Vergleich der Differenzgrößen zum Interesse

## 2.3.1 Gesamtskala Interesse

## 2.3.1.1 Vergleich über alle Gruppen: Kruskal-Wallis-Tests

## Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 154)

	NT I - VT	NT II - VT	NT II - NT I
Chi-Quadrat	14,064	8,417	,697
df	3	3	3
Asymptotische Signifikanz	,003	,038	,874

## 2.3.1.2 Paarweise Tests der Unterrichtsgruppen: Mann-Whitney-Tests

## Schul- vs. Labor-Gruppe (Gesamt jeweils N = 74)

## Statistik für Test

	NT I - VT	NT II - VT
Mann-Whitney-U	604,000	659,500
Z	-,865	-,265
Asymptotische Signifikanz	,387	,791

## Schule vs. Experimental-Gruppe (Gesamt jeweils N = 101)

## Statistik für Test



	NT I - VT	NT II - VT
Mann-Whitney-U	871,000	838,000
Z	-2,285	-2,517
Asymptotische Signifikanz	,022	,012

Labor vs. Experimental-Gruppe (Gesamt jeweils N = 99)

Statistik für Test

	NT I - VT	NT II - VT
Mann-Whitney-U	661,000	844,000
Z	2677,000	1510,000
Z	-3,441	-2,109
Asymptotische Signifikanz	,001	,035

2.3.2 Interesse an Anwendungen der Gentechnik beim Menschen

Vergleich über alle Gruppen: Kruskal-Wallis-Tests

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 154)

	NT I - VT	NT II - VT	NT II - NT I
Chi-Quadrat	7,108	2,238	2,265
df	3	3	3
Asymptotische Signifikanz	,069	,525	,519

2.3.3 Interesse an ethischen Aspekten

2.3.3.1 Vergleich über alle Gruppen: Kruskal-Wallis-Tests

Statistik für Test (Gesamt jeweils N = 154)

	NT I - VT	NT II - VT	NT II - NT I
Chi-Quadrat	11,370	7,164	1,815
df	3	3	3
Asymptotische Signifikanz	,010	,067	,612

2.3.3.2 Paarweise Tests der Unterrichtsgruppen: Mann-Whitney-Tests

Schul- vs. Labor-Gruppe (Gesamt N = 74)

Statistik für Test

	NT I - VT
Mann-Whitney-U	670,500
Z	-,147
Asymptotische Signifikanz	,883

Schule vs. Experimental-Gruppe (Gesamt N = 101)

Statistik für Test

	NT I - VT
Mann-Whitney-U	815,000
Z	-2,687
Asymptotische Signifikanz	,007

Labor vs. Experimental-Gruppe (Gesamt N = 99)

Statistik für Test

	NT I - VT
Mann-Whitney-U	738,000
Z	-2,891
Asymptotische Signifikanz	,004

**3. Vergleich der Unterrichtsgruppen im Hinblick auf Zusammenhänge zwischen der eigenen Experimentiererfahrung und Größen, die in der Gesamtgruppe signifikante Zusammenhänge liefern**

Korrelationen

N = 60	Spearman-Rho Korrelationskoeffizient	Vorhandenes Interesse	Aktuelles Interesse	Interesse an Anwendungen beim Menschen		
				VT	NT I	NT II
Summe eigene Experimentiererfahrung	Schul-	,303	,145	,351	,305	,330
	Sig. (2-seitig)	,072	,400	,036	,070	,049
	N	36	36	36	36	36
	Labor-	,136	,191	,385	,337	,342
	Sig. (2-seitig)	,443	,278	,024	,051	,048
	N	34	34	34	34	34
Experimental-Gr.		,123	,164	,042	,024	-,196
	Sig. (2-seitig)	,350	,209	,753	,857	,134

**Anhang 64: Signifikante Zusammenhänge zwischen den Konstrukten**

Grundlage der Analyse sind die Probanden (N = 157), die alle Items des Subtests Akzeptanz und des Subtests Interesse zu jedem Messzeitpunkt beantwortet haben. Weiterhin werden nur Zusammenhänge zwischen Variablen untersucht, in denen zwischen den Unterrichtsgruppen signifikante Unterschiede festgestellt worden sind. Bei Differenzgrößen werden nur Variablen mit einbezogen, die sich auf einen der beiden Messzeitpunkte der Differenz beziehen. Im Falle von Unterschieden bei Zusammenhängen mit Wissensbeständen zu den verschiedenen Messzeitpunkten werden diese noch inhaltlich differenziert.

**1. Signifikante Zusammenhänge zwischen den Akzeptanz-Scores und Variablen zum Subtest Wissen und zum Subtest Interesse**

Korrelationen

Aktuelle Akzeptanz

Spearman-Rho Korrelationskoeffizient	Vorwissen	Aktuelles Wissen	Persistentes Wissen	Vorhandenes Interesse	Interesse an ethischen Aspekten VT	Interesseänderung NT - VT
Gesamt	,279	,253	,279	,319	,208	-,158
Sig. (2-seitig)	,000	,001	,000	,000	,009	,048
N	157	157	157	157	157	157
Schul-	,152	,227	,361	,286	,210	-,239
Sig. (2-seitig)	,362	,170	,026	,082	,206	,149
N	38	38	38	38	38	38
Labor-	,087	,142	,106	,236	,146	-,041
Sig. (2-seitig)	,580	,364	,500	,128	,349	,793
N	43	43	43	43	43	43
Experimental-Gr.	,139	,133	,101	,221	,079	,005
Sig. (2-seitig)	,232	,252	,386	,055	,497	,967
N	76	76	76	76	76	76

Korrelationen

Affektive Bewertung

Spearman-Rho Korrelationskoeffizient	Vorwissen	Aktuelles Wissen	Persistentes Wissen	Vorhandenes Interesse	Interesse an ethischen Aspekten VT	Interesseänderung NT I – NT II
Gesamt	,243	,283	,275	,323	,277	-,203
Sig. (2-seitig)	,002	,000	,000	,000	,000	,011
N	157	157	157	157	157	157
Schul-	,186	,262	,367	,319	,262	-,274
Sig. (2-seitig)	,263	,112	,023	,051	,113	,096
N	38	38	38	38	38	38
Labor-	-,077	,000	-,024	,261	,197	-,110
Sig. (2-seitig)	,624	,999	,879	,091	,205	,482
N	43	43	43	43	43	43
Experimental-Gr.	,106	,214	,129	,224	,225	-,012
Sig. (2-seitig)	,363	,063	,267	,052	,050	,918
N	76	76	76	76	76	76

Korrelationen

Instrumentelles Handeln

Spearman-Rho Korrelationskoeffizient	Vorwissen	Persistentes Wissen	Vorhandenes Interesse
Gesamt	,194	,165	,219
Sig. (2-seitig)	,015	,038	,006
N	157	157	157
Schul-	,089	,169	,062
Sig. (2-seitig)	,596	,311	,711
N	38	38	38
Labor-	,239	,221	,154
Sig. (2-seitig)	,122	,154	,323
N	43	43	43
Experimental-Gr.	,100	,033	,198
Sig. (2-seitig)	,391	,780	,087
N	76	76	76

Korrelationen

Rückblickende Akzeptanz

Spearman-Rho Korrelationskoeffizient	Vorwissen	Aktuelles Wissen	Persistentes Wissen	Vorhandenes Interesse	Interesse an ethischen Aspekten VT
Gesamt	,222	,192	,277	,315	,212
Sig. (2-seitig)	,005	,016	,000	,000	,008
N	157	157	157	157	157
Schul-	-,063	,135	,259	,377	,207
Sig. (2-seitig)	,709	,418	,116	,020	,211
N	38	38	38	38	38
Labor-	,082	,122	,148	,399	,319
Sig. (2-seitig)	,600	,434	,345	,008	,037
N	43	43	43	43	43
Experimental-Gr.	,215	,069	,158	,162	,081
Sig. (2-seitig)	,062	,554	,173	,162	,485
N	76	76	76	76	76

Korrelationen

Rückblickende affektive Bewertung

Spearman-Rho Korrelationskoeffizient	Vorwissen	Aktuelles Wissen	Persistentes Wissen	Vorhandenes Interesse	Interesse an ethischen Aspekten VT	Interesseänderung NT II – VT
Gesamt	,249	,192	,293	,290	,209	-,180
Sig. (2-seitig)	,002	,016	,000	,000	,009	,024
N	157	157	157	157	157	157
Schul-	,011	-,013	,167	,423	,309	-,490
Sig. (2-seitig)	,946	,936	,317	,008	,059	,002
N	38	38	38	38	38	38
Labor-	-,024	,021	,008	,306	,261	-,152
Sig. (2-seitig)	,877	,895	,958	,046	,091	,331
N	43	43	43	43	43	43
Experimental-Gr.	,233	,138	,248	,118	,053	,002
Sig. (2-seitig)	,043	,234	,031	,310	,647	,987
N	76	76	76	76	76	76

Korrelationen

Rückblickendes instrumentelles Handeln

Spearman-Rho Korrelationskoeffizient	Persistentes Wissen	Vorhandenes Interesse
Gesamt	,166	,264
Sig. (2-seitig)	,038	,001
N	157	157
Schul-	,223	,180
Sig. (2-seitig)	,178	,279
N	38	38
Labor-	,234	,388
Sig. (2-seitig)	,131	,010
N	43	43
Experimental-Gr.	,028	,184
Sig. (2-seitig)	,812	,111
N	76	76

**2. Signifikante Zusammenhänge zwischen Interessen-Scores und Variablen zum Subtest**

**Wissen**

Korrelationen

Variable	Vorhandenes Interesse vs.	Interesse an ethischen Aspekten VT vs.		Interesseänderung NT I – VT vs.	Interesseänderung NT II – VT vs.	Interesseänderung ethische Aspekte NT I – VT vs.
Spearman-Rho Korrelationskoeffizient	Persistentes Wissen	Aktueller Lernerfolg	Aktueller Lernerfolg Vorwissen-Items	Vorwissen	Persistentes Wissen	Vorwissen
Gesamt	,244	,165	,167	-,210	-,241	-,177
Sig. (2-seitig)	,002	,039	,037	,008	,002	,027
N	157	157	157	157	157	157

Schul-	,411	,110	,269	-,148	-,318	-,276
Sig. (2-seitig)	,010	,510	,102	,374	,052	,093
N	38	38	38	38	38	38
Labor-	,027	,004	,050	-,144	-,196	-,044
Sig. (2-seitig)	,865	,981	,750	,357	,207	,780
N	43	43	43	43	43	43
Experimental-Gr.	,101	,208	,198	-,136	-,164	-,010
Sig. (2-seitig)	,386	,072	,087	,242	,156	,930
N	76	76	76	76	76	76

### 3. Inhaltliche Differenzierung von signifikanten Zusammenhängen zwischen Wissensbeständen zu einzelnen Messzeitpunkten und Variablen der Subtests Akzeptanz und Interesse in einzelnen Untersuchungsgruppen

Signifikante Zusammenhänge in einzelnen Unterrichtsgruppen mit Wissensbeständen (vgl. oben Anh. 64, 1. u. 2) werden inhaltlich differenziert (unter Beachtung der üblichen Voraussetzung einer signifikanten Korrelation in der Gesamtgruppe).

#### Korrelationen

Variable	Aktuelle Akzeptanz vs..			Affektive Bewertung		
	Transfer-Items NT II	Vorwissen-Items NT II	Projektwissen-Items NT II	Transfer-Items NT II	Vorwissen-Items NT II	Projektwissen-Items NT II
Spearman-Rho Korrelationskoeffizient						
Gesamt	,244	,208	,284	,252	,215	,283
Sig. (2-seitig)	,002	,009	,000	,001	,007	,000
N	157	157	157	157	157	157
Schul-	,358	,306	,381	,322	,278	,406
Sig. (2-seitig)	,027	,062	,018	,048	,091	,012
N	38	38	38	38	38	38

#### Korrelationen

Variable	Rückbl. affektive Bewertung vs..					
	Transfer-Items VT	Vorwissen-Items VT	Transfer-Items NT II	Vorwissen-Items NT II	Projektwissen-Items NT II	
Spearman-Rho Korrelationskoeffizient						
Gesamt	,189	,226	,190	,213	,264	
Sig. (2-seitig)	,018	,004	,017	,008	,001	
N	157	157	157	157	157	
Experimental-Gr.	,090	,307	,157	,167	,285	
Sig. (2-seitig)	,439	,007	,176	,148	,012	
N	76	76	76	76	76	

#### Korrelationen

Variable	Vorhandenes Interesse vs..		
	Transfer-Items NT II	Vorwissen-Items NT II	Projektwissen-Items NT II
Spearman-Rho Korrelationskoeffizient			
Gesamt	,161	,232	,198
Sig. (2-seitig)	,044	,003	,013
N	157	157	157
Schul-	,243	,393	,397
Sig. (2-seitig)	,141	,015	,013
N	38	38	38

## Anhang 65: Kovarianzanalyse des aktuellen Wissens mit dem vorhandenen Wissen als Kovariate

### 1. Test der Varianzhomogenität:

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen

Abhängige Variable	F	df1	df2	Signifikanz
vorhandenes Wissen	,517	3	333	,671
aktuelles Wissen	2,933	3	333	,034
VT Vorwissen	,313	3	333	,816
NTI Vorwissen	1,330	3	333	,265

Der Levene-Test prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist. Damit ist die Variable aktuelles Wissen nicht varianzhomogen.

2. Test über alle Gruppen:

Tests der Zwischensubjekteffekte

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Test					
Aktuelles Wissen	630,033	1	630,033	86,094	,000
vorhandenes Wissen	511,193	3	170,398	23,285	,000
Vorwissen-Items					
VT	182,031	1	182,031	85,323	,000
NT I	54,356	3	18,119	8,493	,000

Über alle Gruppen hinweg treten in der Kovarianzanalyse für beide Variablen signifikante Unterschiede auf, dabei liegen die p-Werte unter der herabgesetzten Grenze von 0,01 (vgl. Zöfel 2002, S. 209).

3. Vergleich der Schul- und der Experimental-Gruppe bzw. der Labor-Gruppe:

Paarweise Vergleiche

Abhängige Variable:

(I) Gruppen	(J) Gruppen	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall für die Differenz	
					Untergrenze	Obergrenze
Experimental-	Schul-					
Aktuelles Wissen		1,068	,392	,007	,297	1,840
Labor-Gr.						
Vorwissen-Items NT I		,751	,236	,002	,287	1,216

Damit ist für beide Variablen ein signifikanter Unterschied feststellbar, wobei die die p-Werte unter der herabgesetzten Grenze von 0,01 (vgl. Zöfel 2002, S. 209) liegen.

### Anhang 66: Analyse des Items zur Selbsteinschätzung des Unterrichtserfolgs (vgl. Item 15, Tab. 14, Kap. V 4.2.1)

1. Deskriptive Statistik (N =198, Skala 1 gar nicht, 2 kaum, 3 mittelmäßig, 4 ziemlich, 5 außerordentlich)

Bericht: NT Item 44 rec

Gruppen	Mittelwert	N	Standardabweichung	Median	Gruppiertes Median	Minimum	Maximum
Schul-	3,81	42	,833	4,00	3,84	2	5
Labor-	3,79	47	,720	4,00	3,79	2	5
Experimental-Gr.	4,13	87	,860	4,00	4,22	1	5
Insgesamt	3,96	176	,831	4,00	4,0	1	5

2. Vergleich über alle Gruppen: Kruskal-Wallis-Test

(Gesamt jeweils N = 176) Statistik für Test

	NT Item 44 rec	BT Item 48 rec
Chi-Quadrat	8,581	2,934
df	2	2
Asymptotische Signifikanz	,014	,231

3. Paarweise Vergleiche: Mann-Whitney-Tests

Statistik für Test

	Schul- vs. Labor-	Schul- vs. Experimental-	Labor- vs. Experimental-Gr.
Mann-Whitney-U	961,500	1431,000	1525,000
Z	-,231	-2,129	-2,607
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,817	,033	,009

**Anhang 67: Tab. zum Vergleich signifikanter Ergebnisse auf den Ebenen der quantitativen Analyse einzelner Variablen und der Korrelationsanalyse zwischen Variablen in der Teilgruppe Mädchen (S Schul-, L Labor-, E Experimental-Gruppe, ↓ Abnahme, ↑ Zunahme, (↑) tendenzielle Zunahme, ▲ positive, ▼ negative Korrelation, - keine signifikante Änderung bzw. Korrelation)**

Ebene der Betrachtung				
Quantitativ ausgewertete Variablen			Korrelationen	
	Messzeitpunkte		Variable 2	Variable 1
	VT/NT I	VT/NT II	Rückbl. affektive Bewertung	Vorhandenes Interesse
			S $\uparrow$ / L $\uparrow$	
			E -	
Änderung des Interesses				Änderung des Interesses
insgesamt	S - / L -	S - / L -	S $\downarrow$ / L -	insgesamt (VT/NT II)
	E $\downarrow$	E $\downarrow$	E -	
an ethischen Aspekten der Gentechnik	S ( $\uparrow$ ) / L $\uparrow$			
	E -			

## Anhang 68: Deskriptive Tabellen

### 1. Subtest Akzeptanz

#### 1.1 Gesamtgruppe (N = 176)

	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
aktuelle Akzeptanz	21,4	1,8	16,7	20,2	21,7	22,5	24,6
affektive Bewertung	12,6	1,1	9,5	11,7	13,0	13,7	13,7
Bewertung d. instrumentellen Handelns	8,8	1,2	5,1	7,9	8,7	9,4	10,9
rückblick. Akzeptanz	20,5	2,1	15,3	19,1	20,9	22,2	24,6
rückblick. affektive Bewertung	12,2	1,3	7,9	11,5	12,2	13,7	13,7
rückblick. Bewertung d. instrumentellen Handelns	8,3	1,3	5,0	7,3	8,7	9,4	10,9

#### 1.2 Gesamtgruppe Mädchen (N = 133)

	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
aktuelle Akzeptanz	21,3	1,8	16,7	20,2	21,7	22,4	24,6
affektive Bewertung	12,5	1,1	9,5	11,5	12,9	13,7	13,7
Bewertung d. instrumentellen Handelns	8,8	1,2	5,1	8,0	8,7	9,4	10,9
rückblick. Akzeptanz	20,5	2,1	15,3	19,0	20,9	22,1	24,6
rückblick. affektive Bewertung	12,2	1,3	9,0	11,5	12,2	13,7	13,7
rückblick. Bewertung d. instrumentellen Handelns	8,3	1,3	5,0	7,3	8,7	9,4	10,9

#### 1.3 Gesamtgruppe Jungen (N = 43)

	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
aktuelle Akzeptanz	21,6	1,9	16,8	20,9	21,7	23,1	24,6
affektive Bewertung	12,9	,9	10,2	12,2	13,0	13,7	13,7
Bewertung d. instrumentellen Handelns	8,7	1,3	6,4	7,9	8,7	9,4	10,9
rückblick. Akzeptanz	20,5	2,3	15,7	19,4	20,9	22,4	24,6
rückblick. affektive Bewertung	12,3	1,3	7,9	11,7	12,5	13,7	13,7
rückblick. Bewertung d. instrumentellen Handelns	8,2	1,4	5,0	7,3	8,7	8,8	10,9

**1.4 Gesamtgruppe nicht-MNG (N = 112)**

	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
aktuelle Akzeptanz	21,5	1,8	16,7	20,2	21,7	23,1	24,6
affektive Bewertung	12,6	1,0	10,2	11,7	13,0	13,7	13,7
Bewertung d. instrumentellen Handelns	8,8	1,2	5,8	8,0	8,7	10,0	10,9
rückblick. Akzeptanz	20,5	2,2	15,3	18,9	20,9	22,3	24,6
rückblick. affektive Bewertung	12,2	1,3	7,9	11,5	12,2	13,6	13,7
rückblick. Bewertung d. instrumentellen Handelns	8,3	1,4	5,0	7,3	8,7	9,4	10,9

**1.5 Gesamtgruppe MNG (N = 62)**

	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
aktuelle Akzeptanz	21,3	1,8	16,7	20,1	21,7	22,4	24,6
affektive Bewertung	12,6	1,1	9,5	12,2	13,0	13,7	13,7
Bewertung d. instrumentellen Handelns	8,7	1,1	5,1	7,9	8,7	9,4	10,9
rückblick. Akzeptanz	20,7	2,0	16,0	19,5	20,9	22,3	24,6
rückblick. affektive Bewertung	12,4	1,2	9,5	11,6	12,7	13,7	13,7
rückblick. Bewertung d. instrumentellen Handelns	8,3	1,3	5,0	7,3	8,7	9,4	10,9

**1.6 Schul-Gruppe (N = 42)**

	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
aktuelle Akzeptanz	20,7	1,5	16,7	19,5	20,9	21,8	23,8
affektive Bewertung	12,2	1,1	9,5	11,5	12,2	13,0	13,7
Bewertung d. instrumentellen Handelns	8,5	1,2	5,8	7,3	8,7	9,4	10,9
rückblick. Akzeptanz	20,4	1,7	16,6	19,0	20,9	21,6	23,8
rückblick. affektive Bewertung	12,1	1,2	9,5	11,5	12,2	13,0	13,7
rückblick. Bewertung d. instrumentellen Handelns	8,3	1,2	5,8	7,3	8,7	8,7	10,9

**1.7 Labor-Gruppe (N = 47)**

	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
aktuelle Akzeptanz	20,6	1,9	16,7	19,5	20,9	21,7	24,6
affektive Bewertung	12,1	1,0	10,2	11,5	12,2	13,0	13,7
Bewertung d. instrumentellen Handelns	8,5	1,3	5,8	7,9	8,7	9,4	10,9
rückblick. Akzeptanz	19,5	2,0	15,3	18,2	19,6	20,9	23,8
rückblick. affektive Bewertung	11,5	1,1	9,5	10,7	11,7	12,2	13,7
rückblick. Bewertung d. instrumentellen Handelns	8,0	1,4	5,0	7,3	7,9	8,7	10,9

**1.8 Experimental-Gruppe (N = 87)**

	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
aktuelle Akzeptanz	22,1	1,6	18,0	21,0	22,4	23,1	24,6
affektive Bewertung	13,1	,8	10,8	12,9	13,7	13,7	13,7
Bewertung d. instrumentellen Handelns	9,0	1,1	5,1	8,0	9,4	10,1	10,9

rückblick. Akzeptanz	21,2	2,1	16,0	19,6	21,6	22,4	24,6
rückblick. affektive Bewertung	12,7	1,3	7,9	11,7	13,0	13,7	13,7
rückblick. Bewertung d. instrumentellen Handelns	8,5	1,4	5,0	7,8	8,7	9,4	10,9

## 2. Subtest Wissenserwerb

### 2.1 Gesamtgruppe (N = 337)

	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
Vorhandenes Wissen	5	3	0	3	5	7	11
Aktuelles Wissen	9	3	1	6	9	11	16
Persistentes Wissen	7	3	0	5	7	9	15
VT Anzahl richtig Transfer	2	1	0	1	1	2	5
NT I Anzahl richtig Transfer	2	1	0	1	2	3	5
NT II Anzahl richtig Transfer	2	1	0	1	2	3	5
Wissenszuwachs	4	3	-7	2	4	6	11
Behaltensleistung	2	3	-8	0	2	4	10
Vergessensmaß	2	3	-6	0	2	4	10
Wissenszuwachs Transfer	1	1	-4	0	1	2	5
Behaltensleistung Transfer	0	1	-4	0	0	1	5
Vergessensmaß Transfer	0	1	-3	-1	0	1	4
aktueller Lernerfolg	2,5	2,3	-1,5	,6	2,0	4,1	10,3
persistenter Lernerfolg	1,2	1,8	-1,9	,0	,8	1,9	7,5
Transfer aktueller Lernerfolg	1	1	-1	0	0	1	5
Transfer persist. Lernerfolg	0	1	-1	0	0	1	5
VT Anzahl Vorwissen	3	2	0	2	3	5	7
NT I Anzahl Vorwissen	4	2	0	3	4	5	7
NT II Anzahl Vorwissen	3	2	0	2	3	5	7
VT Anzahl Projektwissen	2	1	0	1	2	3	5
NT I Anzahl Projektwissen	5	2	0	3	5	6	9
NT II Anzahl Projektwissen	4	2	0	2	3	5	8
Vorwissen WZW	1	2	-4	-1	1	2	6
Projektwissen WZW	3	2	-4	2	3	5	8
Vorwissen BI	0	2	-7	-1	0	1	7
Projektwissen BI	2	2	-3	0	2	3	7
Vorwissen Vm	1	2	-4	-1	1	2	6
Projektwissen Vm NT I - II	1	2	-4	0	1	3	6
Projektwissen Vm NT II - I	-1	2	-6	-3	-1	0	4
aktueller Lernerfolg Vorwissen	,6	1,2	-1,7	,0	,4	1,1	5,1
aktueller Lernerfolg Projektwissen	2,1	1,8	-,4	,4	1,7	3,3	7,1
persist. Lernerfolg	,4	1,1	-1,7	-,3	,0	,9	7,0



Vorwissen							
persist. Lernerfolg Projektwissen	1,0	1,2	-,7	,0	,6	1,7	5,4

**2.2 Gesamtgruppe Mädchen (N = 256)**

	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
vorhandenes Wissen	5	2	0	3	5	7	11
Aktuelles Wissen	9	3	1	6	9	11	16
Persistentes Wissen	7	3	0	5	7	9	14
Wissenszuwachs	4	3	-5	2	4	6	11
Behaltensleistung	2	3	-7	0	2	4	10
Vergessensmaß	2	3	-6	0	2	4	8
Wissenszuwachs Transfer	1	1	-3	0	1	2	5
Behaltensleistung Transfer	0	1	-4	0	0	1	5
Vergessensmaß Transfer	0	1	-3	-1	0	1	4
aktueller Lernerfolg	2,5	2,3	-1,1	,6	2,1	3,9	10,3
persistenter Lernerfolg	1,2	1,7	-1,9	,0	,8	2,0	7,5
Transfer aktueller Lernerfolg	1	1	-1	0	0	1	5
Transfer persist. Lernerfolg	0	1	-1	0	0	1	5
VT Anzahl Vorwissen	3	2	0	2	3	5	7
NT I Anzahl Vorwissen	4	2	0	3	4	5	7
NT II Anzahl Vorwissen	3	2	0	2	3	5	7
VT Anzahl Projektwissen	2	1	0	1	2	3	5
NT I Anzahl Projektwissen	5	2	0	3	5	6	9
NT II Anzahl Projektwissen	4	2	0	2	3	5	8
Vorwissen WZW	1	2	-4	0	1	2	6
Projektwissen WZW	3	2	-4	2	3	5	8
Vorwissen BI	0	2	-5	-1	0	1	5
Projektwissen BI	2	2	-3	0	2	3	7
Vorwissen Vm	1	2	-4	-1	1	2	6
Projektwissen Vm	1	2	-4	0	1	3	6
aktueller Lernerfolg Vorwissen	,6	1,2	-1,7	,0	,4	1,1	5,1
aktueller Lernerfolg Projektwissen	2,1	1,8	-,4	,4	1,8	3,3	7,1
persist. Lernerfolg Vorwissen	,3	1,0	-1,7	-,3	,0	,7	5,0
persist. Lernerfolg Projektwissen	1,0	1,2	-,7	,0	,7	1,8	5,4

**2.3 Gesamtgruppe Jungen (N = 81)**

	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
vorhandenes Wissen	6	3	0	4	5	8	11
Aktuelles Wissen	9	3	2	6	9	12	16
Persistentes Wissen	7	3	0	5	7	10	15
Wissenszuwachs	3	3	-7	1	3	6	10
Behaltensleistung	2	3	-8	0	2	3	9
Vergessensmaß	2	2	-4	0	1	3	10
Wissenszuwachs Transfer	1	2	-4	0	1	2	4
Behaltensleistung Transfer	0	1	-4	-1	0	1	3

Vergessensmaß Transfer	0	1	-2	-1	0	1	4
aktueller Lernerfolg	2,4	2,4	-1,5	,7	1,5	4,7	8,8
persistenter Lernerfolg	1,3	2,0	-1,5	,0	,8	1,7	6,5
Transfer aktueller Lernerfolg	1	1	-1	0	0	1	4
Transfer persist. Lernerfolg	0	1	-1	0	0	1	3
VT Anzahl Vorwissen	3	2	0	2	3	5	7
NT I Anzahl Vorwissen	4	2	1	3	5	6	7
NT II Anzahl Vorwissen	4	2	0	3	4	5	7
VT Anzahl Projektwissen	2	1	0	1	2	3	5
NT I Anzahl Projektwissen	5	2	0	4	5	7	9
NT II Anzahl Projektwissen	4	2	0	2	3	5	8
Vorwissen WZW	1	2	-4	-1	1	2	4
Projektwissen WZW	3	2	-4	1	3	4	7
Vorwissen BI	0	2	-7	-1	0	2	7
Projektwissen BI	1	2	-3	0	1	2	7
Vorwissen Vm	0	2	-4	-1	0	1	4
Projektwissen Vm	1	2	-2	0	1	2	6
aktueller Lernerfolg Vorwissen	,6	1,1	-1,7	-,1	,4	1,3	3,4
aktueller Lernerfolg Projektwissen	1,9	1,7	-,4	,5	1,7	3,1	6,2
persist. Lernerfolg Vorwissen	,6	1,4	-1,1	-,4	,0	1,0	7,0
persist. Lernerfolg Projektwissen	,9	1,3	-,7	,0	,4	1,3	5,4

**2.4 Gesamtgruppe nicht-MNG (N = 181)**

	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
vorhandenes Wissen	5	2	0	3	4	6	11
Aktuelles Wissen	8	3	2	6	8	11	16
Persistentes Wissen	7	3	0	5	7	9	13
Wissenszuwachs	4	3	-7	2	4	6	11
Behaltensleistung	2	3	-8	0	2	4	10
Vergessensmaß	2	3	-6	0	2	4	7
Wissenszuwachs Transfer	1	1	-4	0	1	2	5
Behaltensleistung Transfer	0	1	-4	0	0	1	5
Vergessensmaß Transfer	0	1	-3	-1	0	1	3
aktueller Lernerfolg	2,4	2,2	-1,5	,8	2,0	3,8	10,3
persistenter Lernerfolg	1,1	1,5	-1,5	,0	,8	1,8	7,5
Transfer aktueller Lernerfolg	1	1	-1	0	0	1	5
Transfer persist. Lernerfolg	0	1	-1	0	0	1	5
VT Anzahl Vorwissen	3	2	0	2	3	4	7
NT I Anzahl Vorwissen	4	2	0	3	4	5	7
NT II Anzahl Vorwissen	3	2	0	2	3	4	7
VT Anzahl Projektwissen	2	1	0	1	2	2	5

NT I Anzahl Projektwissen	5	2	0	3	5	6	9
NT II Anzahl Projektwissen	3	2	0	2	3	5	7
Vorwissen WZW	1	2	-4	0	1	2	6
Projektwissen WZW	3	2	-4	2	3	4	8
Vorwissen BI	0	2	-7	-1	0	1	5
Projektwissen BI	2	2	-2	0	2	3	7
Vorwissen Vm	1	2	-4	-1	1	2	4
Projektwissen Vm	1	2	-3	0	1	2	6
aktueller Lernerfolg Vorwissen	,7	1,2	-1,7	,0	,4	1,4	5,1
aktueller Lernerfolg Projektwissen	1,9	1,7	-,4	,4	1,7	2,8	7,1
persist. Lernerfolg Vorwissen	,3	1,0	-1,7	-,2	,0	,7	4,3
persist. Lernerfolg Projektwissen	,9	1,1	-,4	,0	,6	1,3	5,4

### 2.5 Gesamtgruppe MNG (N = 151)

	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
vorhandenes Wissen	6	3	0	4	5	7	11
Aktuelles Wissen	9	3	1	6	10	12	16
Persistentes Wissen	7	3	0	5	7	10	15
Wissenszuwachs	4	3	-5	1	4	6	10
Behaltensleistung	2	3	-7	0	2	4	10
Vergessensmaß	2	3	-6	0	2	4	10
Wissenszuwachs Transfer	1	1	-3	0	1	2	4
Behaltensleistung Transfer	0	1	-4	-1	0	1	4
Vergessensmaß Transfer	0	1	-3	-1	0	1	4
aktueller Lernerfolg	2,6	2,4	-1,1	,5	2,1	4,8	8,8
persistenter Lernerfolg	1,3	2,0	-1,9	,0	,9	2,2	7,5
Transfer aktueller Lernerfolg	1	1	-1	0	0	1	4
Transfer persist. Lernerfolg	0	1	-1	0	0	1	4
VT Anzahl Vorwissen	4	2	0	2	4	5	7
NT I Anzahl Vorwissen	4	2	0	3	4	5	7
NT II Anzahl Vorwissen	4	2	0	2	4	5	7
VT Anzahl Projektwissen	2	1	0	1	2	3	5
NT I Anzahl Projektwissen	5	2	0	4	6	7	9
NT II Anzahl Projektwissen	4	2	0	2	3	6	8
Vorwissen WZW	0	2	-3	-1	0	2	4
Projektwissen WZW	3	2	-4	1	3	5	8
Vorwissen BI	0	2	-5	-1	0	1	7
Projektwissen BI	2	2	-3	0	2	3	7
Vorwissen Vm	0	2	-4	-1	0	2	6
Projektwissen Vm	1	2	-4	0	1	3	6
aktueller Lernerfolg Vorwissen	,5	1,1	-1,3	-,3	,0	1,0	4,0
aktueller Lernerfolg Projektwissen	2,3	2,0	-,4	,4	2,0	3,9	7,1
persist. Lernerfolg Vorwissen	,4	1,3	-1,3	-,4	,0	1,0	7,0
persist. Lernerfolg	1,1	1,4	-,7	,0	,6	2,0	5,4

Projektwissen							
---------------	--	--	--	--	--	--	--

**2.6 Externe Kontroll-Gruppe (N = 36)**

	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
Vorhandenes Wissen	6	2	2	4	6	8	11
Aktuelles Wissen	6	3	2	4	6	8	11
Persistentes Wissen	5	2	2	4	6	6	11
VT Anzahl richtig Transfer	2	1	0	1	2	3	3
NT I Anzahl richtig Transfer	2	1	0	1	2	3	4
NT II Anzahl richtig Transfer	1	1	0	0	1	2	4
Wissenszuwachs	0	2	-5	-1	0	2	4
Behaltensleistung	0	3	-7	-2	0	1	4
Vergessensmaß	1	2	-5	-1	0	2	6
Wissenszuwachs Transfer	0	1	-3	0	1	1	2
Behaltensleistung Transfer	0	1	-3	-1	0	1	2
Vergessensmaß Transfer	0	1	-2	0	0	1	3
aktueller Lernerfolg	,2	,8	-1,1	-,4	,0	,7	2,1
persistenter Lernerfolg	,0	,8	-1,1	-,8	,0	,4	2,3
Transfer aktueller Lernerfolg	0	0	0	0	0	0	1
Transfer persist. Lernerfolg	0	0	0	0	0	0	1
VT Anzahl Vorwissen	4	2	0	2	4	5	7
NT I Anzahl Vorwissen	3	2	0	2	3	4	7
NT II Anzahl Vorwissen	3	2	0	2	3	4	6
VT Anzahl Projektwissen	2	1	0	1	2	4	5
NT I Anzahl Projektwissen	3	2	0	1	3	4	6
NT II Anzahl Projektwissen	3	1	0	2	2	3	7
Vorwissen WZW	0	1	-3	-1	0	1	3
Projektwissen WZW	0	2	-4	-1	1	1	3
Vorwissen BI	-1	2	-5	-2	-1	1	3
Projektwissen BI	0	2	-3	-1	0	1	3
Vorwissen Vm	0	2	-3	-1	0	2	4
Projektwissen Vm NT I - II	0	2	-3	-1	0	1	3
Projektwissen Vm NT II - I	0	2	-3	-1	0	1	3
aktueller Lernerfolg Vorwissen	,1	,7	-,9	-,6	,0	,4	2,1
aktueller Lernerfolg Projektwissen	,2	,5	-,4	,0	,1	,4	1,7
persist. Lernerfolg Vorwissen	,1	,9	-1,1	-,6	,0	,4	2,6
persist. Lernerfolg Projektwissen	,2	,6	-,7	-,3	,0	,4	2,3

**2.7 Schul-Gruppe (N = 83)**

	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
Vorhandenes Wissen	4	3	0	2	3	5	10
Aktuelles Wissen	8	3	1	5	8	11	15
Persistentes Wissen	6	3	0	3	6	9	15
VT Anzahl richtig	1	1	0	0	1	1	4

Transfer							
NT I Anzahl richtig Transfer	2	1	0	1	2	3	5
NT II Anzahl richtig Transfer	2	1	0	1	1	3	5
Wissenszuwachs	4	3	-3	2	4	6	11
Behaltensleistung	3	3	-3	0	3	5	10
Vergessensmaß	1	3	-6	0	1	3	8
Wissenszuwachs Transfer	1	1	-3	0	1	2	5
Behaltensleistung Transfer	1	2	-3	0	1	1	5
Vergessensmaß Transfer	0	1	-3	-1	0	1	3
aktueller Lernerfolg	2,4	2,3	-1,0	,6	1,9	3,9	10,3
persistenter Lernerfolg	1,6	2,0	-1,1	,0	,9	2,8	7,5
Transfer aktueller Lernerfolg	1	1	-1	0	0	1	5
Transfer persist. Lernerfolg	1	1	-1	0	0	1	5
VT Anzahl Vorwissen	3	2	0	1	2	3	7
NT I Anzahl Vorwissen	3	2	0	2	3	5	7
NT II Anzahl Vorwissen	3	2	0	2	3	4	7
VT Anzahl Projektwissen	1	1	0	0	1	2	4
NT I Anzahl Projektwissen	5	2	0	3	4	6	8
NT II Anzahl Projektwissen	3	2	0	2	3	5	8
Vorwissen WZW	1	2	-4	-1	1	2	5
Projektwissen WZW	3	2	-2	2	3	5	8
Vorwissen BI	0	2	-4	-1	0	2	7
Projektwissen BI	2	2	-2	0	2	4	7
Vorwissen Vm	0	2	-4	-1	0	2	6
Projektwissen Vm NT I - II	1	2	-3	0	1	2	6
Projektwissen Vm NT II - I	-1	2	-6	-2	-1	0	3
aktueller Lernerfolg Vorwissen	,5	1,1	-1,7	,0	,1	,9	4,3
aktueller Lernerfolg Projektwissen	2,2	1,9	-,2	,6	1,8	3,3	7,1
persist. Lernerfolg Vorwissen	,5	1,4	-1,4	-,1	,0	1,1	7,0
persist. Lernerfolg Projektwissen	1,3	1,4	-,3	,0	,7	2,2	5,4

**2.8 Labor-Gruppe (N = 72)**

	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
Vorhandenes Wissen	5	2	0	3	5	6	10
Aktuelles Wissen	9	3	2	7	9	11	14
Persistentes Wissen	7	2	2	5	7	9	14
VT Anzahl richtig Transfer	2	1	0	1	1	2	4
NT I Anzahl richtig Transfer	2	1	0	1	2	3	5
NT II Anzahl richtig Transfer	2	1	0	1	2	3	5
Wissenszuwachs	4	3	-7	3	5	7	10
Behaltensleistung	2	3	-4	0	2	4	7
Vergessensmaß	2	2	-4	1	2	4	7
Wissenszuwachs	1	2	-4	0	1	2	5

Transfer							
Behaltensleistung Transfer	0	1	-3	0	0	1	3
Vergessensmaß Transfer	0	1	-2	-1	0	1	3
aktueller Lernerfolg	2,8	2,2	-1,3	1,2	2,5	4,1	8,1
persistenter Lernerfolg	1,1	1,5	-1,5	,0	,9	1,8	6,1
Transfer aktueller Lernerfolg	1	1	-1	0	0	1	5
Transfer persist. Lernerfolg	0	0	-1	0	0	1	2
VT Anzahl Vorwissen	3	2	0	2	3	4	6
NT I Anzahl Vorwissen	4	2	1	3	4	5	7
NT II Anzahl Vorwissen	3	1	1	3	4	4	7
VT Anzahl Projektwissen	2	1	0	1	2	3	5
NT I Anzahl Projektwissen	5	2	0	3	5	6	8
NT II Anzahl Projektwissen	4	2	0	2	4	5	8
Vorwissen WZW	1	2	-3	0	1	2	6
Projektwissen WZW	3	2	-4	2	3	5	7
Vorwissen BI	1	1	-3	-1	1	2	4
Projektwissen BI	2	2	-2	0	2	3	5
Vorwissen Vm	1	1	-3	0	1	2	4
Projektwissen Vm NT I - II	1	2	-2	0	1	3	6
Projektwissen Vm NT II - I	-1	2	-6	-3	-1	0	2
aktueller Lernerfolg Vorwissen	,9	1,3	-1,1	,0	,7	1,6	5,1
aktueller Lernerfolg Projektwissen	2,0	1,5	-,4	,7	2,0	3,3	5,4
persist. Lernerfolg Vorwissen	,3	,8	-1,1	-,3	,1	,8	2,6
persist. Lernerfolg Projektwissen	,9	1,2	-,7	,0	,4	1,6	4,4

**2.9 Experimental-Gruppe (N = 146)**

	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
Vorhandenes Wissen	6	2	0	4	6	7	11
Aktuelles Wissen	10	3	2	8	10	12	16
Persistentes Wissen	8	3	0	5	8	10	13
VT Anzahl richtig Transfer	2	1	0	1	2	2	5
NT I Anzahl richtig Transfer	3	1	0	2	3	4	5
NT II Anzahl richtig Transfer	2	1	0	1	2	3	5
Wissenszuwachs	4	3	-3	2	4	6	10
Behaltensleistung	2	3	-8	0	2	4	10
Vergessensmaß	2	3	-6	1	3	4	10
Wissenszuwachs Transfer	1	1	-3	0	1	2	4
Behaltensleistung Transfer	0	1	-4	0	0	1	3
Vergessensmaß Transfer	0	1	-3	-1	1	1	4
aktueller Lernerfolg	3,0	2,3	-1,5	1,1	2,5	4,9	9,0
persistenter Lernerfolg	1,4	1,8	-1,9	,0	,9	2,3	7,5
Transfer aktueller	1	1	-1	0	0	1	4

Lernerfolg							
Transfer persist. Lernerfolg	0	1	-1	0	0	1	3
VT Anzahl Vorwissen	4	2	0	3	4	5	7
NT I Anzahl Vorwissen	4	2	0	3	5	6	7
NT II Anzahl Vorwissen	4	2	0	2	4	5	7
VT Anzahl Projektwissen	2	1	0	1	2	3	5
NT I Anzahl Projektwissen	6	2	1	4	6	7	9
NT II Anzahl Projektwissen	4	2	0	3	4	5	8
Vorwissen WZW	1	2	-4	0	1	2	5
Projektwissen WZW	3	2	0	2	3	5	8
Vorwissen BI	0	2	-7	-1	0	1	5
Projektwissen BI	2	2	-3	1	2	3	7
Vorwissen Vm	1	2	-4	-1	1	2	4
Projektwissen Vm NT I - II	2	2	-4	1	2	3	6
Projektwissen Vm NT II - I	-2	2	-6	-3	-2	-1	4
aktueller Lernerfolg Vorwissen	,7	1,2	-1,7	,0	,6	1,4	4,3
aktueller Lernerfolg Projektwissen	2,5	1,8	,0	1,0	2,2	3,6	7,1
persist. Lernerfolg Vorwissen	,4	1,2	-1,7	-,4	,0	,9	4,3
persist. Lernerfolg Projektwissen	1,1	1,2	-,7	,1	,7	1,8	5,4

**2.10 Variablen, die in der Gesamtgruppe signifikante Unterschiede ergeben haben (vgl. Tab. 37, Kap. VI 2.1)**

Gruppen		Schulzweig mat.-nat. nicht MNG						
		Wissen			Anzahl Vorwissen		Anzahl Projektwissen	Vorwissen WZW
		vorhandenes	Aktuelles	Persistentes	VT	NT I	VT	
externe Ko.	Mittelwert	5	6	5	4	4	2	0
	Standardabweichung	2	2	2	1	1	1	1
	Minimum	2	3	3	1	1	0	-2
	25. Perzentil	4	4	4	2	3	1	-1
	Median	6	6	6	4	4	2	0
	75. Perzentil	7	7	6	5	5	3	1
	Maximum	9	10	9	5	6	4	3
Schule	Anzahl	16	16	16	16	16	16	16
	Mittelwert	3	8	7	2	3	1	1
	Standardabweichung	3	4	4	2	2	1	2
	Minimum	0	2	0	0	0	0	-4
	25. Perzentil	2	4	3	1	1	0	0
	Median	3	8	7	2	3	1	1
	75. Perzentil	4	11	11	3	5	2	2
Maximum	10	15	13	7	7	4	5	
Labor	Anzahl	44	44	44	44	44	44	44
	Mittelwert	4	9	7	3	4	2	1
	Standardabweichung	2	3	2	2	2	1	2
	Minimum	0	2	2	0	1	0	-3
	25. Perzentil	3	7	5	1	3	1	0
	Median	4	9	7	2	4	1	1
	75. Perzentil	5	11	9	4	6	2	3
Maximum	10	13	11	6	7	5	6	
Experiment	Anzahl	50	50	50	50	50	50	50
	Mittelwert	5	9	7	4	4	2	1

al-Gr.								
	Standardabweichung	2	3	3	2	2	1	2
	Minimum	0	2	0	0	0	0	-4
	25. Perzentil	4	7	5	2	3	1	0
	Median	5	10	7	3	5	2	1
	75. Perzentil	7	11	9	5	5	3	2
	Maximum	11	16	12	7	7	4	5
	Anzahl	71	71	71	71	71	71	71

Gruppen		Schulzweig mat.-nat. MNG						
		Wissen			Anzahl Vorwissen		VT Anzahl Projektwissen	Vorwissen WZW
		vorhandenes	Aktuelles -	Persistentes -	VT	NT I		
externe Ko.-	Mittelwert	6	6	5	4	3	3	-1
	Standardabweichung	3	3	2	2	2	1	2
	Minimum	2	2	2	0	0	0	-3
	25. Perzentil	4	3	3	2	2	1	-2
	Median	7	6	6	4	3	3	-1
	75. Perzentil	8	8	7	5	4	4	0
	Maximum	11	11	11	7	7	5	2
	Anzahl	20	20	20	20	20	20	20
Schul-	Mittelwert	4	8	6	3	3	1	0
	Standardabweichung	2	3	3	2	2	1	2
	Minimum	0	1	1	0	1	0	-3
	25. Perzentil	2	5	4	2	2	0	-1
	Median	4	8	6	3	3	1	0
	75. Perzentil	6	11	8	4	5	2	2
	Maximum	9	14	15	6	7	4	4
	Anzahl	38	38	38	38	38	38	38
Labor-	Mittelwert	6	9	7	4	4	2	0
	Standardabweichung	3	3	2	1	1	2	1
	Minimum	0	5	4	0	2	0	-2
	25. Perzentil	4	7	6	3	3	1	-1
	Median	6	10	7	4	5	1	0
	75. Perzentil	8	11	8	5	5	3	1
	Maximum	10	13	11	6	6	5	3
	Anzahl	19	19	19	19	19	19	19
Experimental-Gr.	Mittelwert	6	11	9	4	5	2	1
	Standardabweichung	2	3	3	2	1	1	2
	Minimum	1	4	0	0	1	0	-3
	25. Perzentil	4	9	6	3	3	1	-1
	Median	6	11	9	4	5	2	1
	75. Perzentil	8	13	11	5	6	3	2
	Maximum	11	16	13	6	7	5	4
	Anzahl	74	74	74	74	74	74	74

**2.11 Variablen, die in der Gesamtgruppe geschlechtsspezifische Unterschiede ergeben haben (vgl. Tab. 37, Kap. VI 2.1.2)**

Gruppen		Geschlecht			
		weiblich		männlich	
		VT Anzahl Projektwissen	NT II Anzahl Vorwissen	VT Anzahl Projektwissen	NT II Anzahl Vorwissen
externe Ko.-	Mittelwert	2	3	3	3
	Standardabweichung	1	2	2	2
	Minimum	0	0	0	0
	25. Perzentil	1	2	2	2
	Median	2	3	4	4
	75. Perzentil	3	4	5	5
	Maximum	4	6	5	5
	Anzahl	31	31	5	5
Schul-	Mittelwert	1	3	2	3



	Standardabweichung	1	2	2	2
	Minimum	0	0	0	1
	25. Perzentil	0	2	0	1
	Median	1	3	1	3
	75. Perzentil	2	4	3	6
	Maximum	4	7	4	7
	Anzahl	68	68	15	15
Labor-	Mittelwert	2	3	2	4
	Standardabweichung	1	1	2	1
	Minimum	0	1	0	2
	25. Perzentil	1	2	1	3
	Median	1	4	2	3
	75. Perzentil	3	4	4	5
	Maximum	5	6	5	7
	Anzahl	55	55	17	17
Experimental-Gr.	Mittelwert	2	4	2	4
	Standardabweichung	1	2	1	2
	Minimum	0	0	0	0
	25. Perzentil	1	2	1	3
	Median	2	4	2	4
	75. Perzentil	3	5	3	5
	Maximum	5	7	5	7
	Anzahl	102	102	44	44

### 3. Subtest Interesse

#### 3.1 Gesamtgruppe (N = 198)

	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
vorhandenes Interesse	25,4	3,8	14,1	22,7	25,4	28,2	36,3
VT Int.an ethischen Aspekten	8,0	2,3	2,4	6,7	8,2	9,7	12,1
VT Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	7,0	1,9	2,5	5,6	6,9	8,1	12,3
VT Int. an Anwendungen beim Menschen	10,4	1,5	4,7	9,5	11,0	11,9	11,9
aktuelles Interesse	25,0	3,7	15,5	22,5	25,1	27,3	36,3
NT I Int.an ethischen Aspekten	8,2	2,2	2,4	6,7	8,5	9,7	12,1
NT I Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,6	2,0	2,5	4,9	6,5	8,1	12,3
NT I Int. an Anwendungen beim Menschen	10,1	1,3	6,5	9,5	10,1	11,2	11,9
persistentes Interesse	24,2	3,6	12,6	21,7	24,1	26,7	36,3
NT II Int.an ethischen Aspekten	7,4	1,7	3,3	6,4	7,3	8,5	12,1
NT II Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,7	1,8	2,5	5,6	6,5	8,1	12,3
NT II Int. an Anwendungen beim Menschen	10,1	1,5	4,7	9,5	10,1	11,2	11,9
Interesseänderung							
VT NT	-,5	3,0	-9,2	-2,5	-,1	1,6	6,3
NT I NT II	,7	3,4	-8,9	-1,0	,7	3,0	12,4
VT NT II	-1,2	3,9	-11,3	-3,5	-1,1	1,3	10,1

Interesseänderung eth. Aspekte							
VT NT	,2	1,8	-6,7	-,6	,0	1,2	6,7
NT I NT II	,8	1,8	-4,5	-,3	,9	1,9	6,1
VT NT II	,6	2,1	-5,2	-,9	,9	1,9	5,4
Anw. Mensch							
VT NT I	-,3	1,2	-3,9	-1,1	,0	,7	2,4
NT I NT II	,0	1,4	-3,9	-,7	,0	,8	4,4
VT NT II	,4	1,5	-4,2	-,6	,0	1,1	4,7

**3.2 Gesamtgruppe Mädchen (N = 154)**

	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
vorhandenes Interesse	25,8	3,8	14,1	23,2	26,0	28,5	36,3
VT Int.an ethischen Aspekten	8,3	2,2	2,4	6,9	8,2	10,0	12,1
VT Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,9	1,9	2,5	5,6	6,5	8,1	12,3
VT Int. an Anwendungen beim Menschen	10,6	1,4	5,4	9,5	11,0	11,9	11,9
aktuelles Interesse	25,2	3,5	15,5	23,2	25,5	27,4	34,5
NT I Int.an ethischen Aspekten	8,4	2,1	2,4	7,3	8,8	10,0	12,1
NT I Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,5	1,8	2,5	4,9	6,5	7,4	11,4
NT I Int. an Anwendungen beim Menschen	10,2	1,2	6,5	9,5	10,3	11,2	11,9
persistentes Interesse	24,4	3,4	12,6	22,2	24,2	26,7	34,6
NT II Int.an ethischen Aspekten	7,5	1,5	3,9	6,7	7,6	8,5	11,2
NT II Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,6	1,7	2,5	5,6	6,5	8,1	11,6
NT II Int. an Anwendungen beim Menschen	10,3	1,4	4,7	9,5	10,3	11,9	11,9
Interesseänderung							
VT NT I	-,6	3,0	-9,2	-2,7	-,5	1,5	6,3
NT I NT II	,8	3,4	-8,9	-1,6	,7	3,0	12,4
VT NT II	-1,4	3,9	-11,3	-3,9	-1,3	1,1	8,0
Interesseänderung eth. Aspekte							
VT NT I	,1	1,6	-5,5	-,7	,0	1,2	4,0
NT I NT II	,9	1,8	-4,5	-,1	,9	2,1	6,1
VT NT II	,8	2,0	-4,5	-,3	,9	2,4	5,4
Interesseänderung Anw. Mensch							
VT NT I	-,4	1,2	-3,9	-1,5	-,2	,7	2,4
NT I NT II	-,1	1,3	-3,9	-,8	,0	,7	4,1
VT NT II	,3	1,4	-4,2	-,6	,0	1,1	4,1

**3.3 Gesamtgruppe Jungen (N = 44)**

	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
vorhandenes Interesse	24,2	3,8	17,5	22,1	23,7	26,0	36,3
VT Int.an ethischen Aspekten	7,0	2,5	3,0	5,5	7,1	8,8	12,1
VT Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	7,3	2,1	3,2	5,6	7,3	8,7	12,3

VT Int. an Anwendungen beim Menschen	9,9	1,7	4,7	9,3	10,1	11,2	11,9
aktuelles Interesse	24,3	4,1	16,8	21,6	23,5	26,8	36,3
NT I Int.an ethischen Aspekten	7,5	2,3	3,0	5,8	7,4	9,7	12,1
NT I Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	7,0	2,4	2,5	5,1	6,5	8,9	12,3
NT I Int. an Anwendungen beim Menschen	9,8	1,5	7,1	8,6	9,8	11,2	11,9
persistentes Interesse	23,7	4,1	16,4	20,4	23,1	26,8	36,3
NT II Int.an ethischen Aspekten	7,1	2,0	3,3	5,4	7,3	8,2	12,1
NT II Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	7,1	2,2	3,2	5,6	6,7	9,0	12,3
NT II Int. an Anwendungen beim Menschen	9,4	1,7	5,4	8,1	9,5	11,0	11,9
Interesseänderung							
VT NT I	,1	2,9	-8,9	-1,2	,3	1,9	5,7
NT I NT II	,6	3,3	-7,4	-,7	,4	2,8	7,9
VT NT II	-,5	4,0	-11,3	-2,7	-,4	1,5	10,1
Interesseänderung eth. Aspekte							
VT NT I	,5	2,4	-6,7	-,6	,3	1,8	6,7
NT I NT II	,4	1,9	-4,2	-,9	,8	1,5	5,8
VT NT II	-,2	2,4	-5,2	-1,7	,0	1,2	5,2
Interesseänderung Anw. Mensch							
VT NT I	-,1	1,1	-2,4	-,9	,0	,7	2,3
NT I NT II	,4	1,6	-3,2	-,6	,0	1,0	4,4
VT NT II	,5	1,6	-3,4	-,6	,4	1,5	4,7

### 3.4.1 Gesamtgruppe Mädchen/nicht MNG (N = 102)

	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
vorhandenes Interesse	26,1	3,6	17,3	23,3	26,3	29,1	36,3
VT Int.an ethischen Aspekten	8,5	2,1	3,6	7,3	8,2	10,3	12,1
VT Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	7,0	2,0	3,2	5,6	7,2	8,1	12,3
VT Int. an Anwendungen beim Menschen	10,6	1,3	6,4	9,5	11,0	11,9	11,9
aktuelles Interesse	25,3	3,4	15,5	23,3	25,7	27,5	34,5
NT I Int.an ethischen Aspekten	8,6	2,1	2,4	7,3	9,1	10,0	12,1
NT I Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,5	1,8	2,5	4,9	6,3	7,4	11,4
NT I Int. an Anwendungen beim Menschen	10,2	1,2	6,5	9,5	10,2	11,2	11,9
persistentes Interesse	24,7	3,4	12,6	22,6	24,5	27,1	34,6
NT II Int.an ethischen Aspekten	7,7	1,5	3,9	7,0	7,9	8,8	11,2
NT II Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,7	1,6	2,5	5,6	6,5	8,0	11,6

NT II Int. an Anwendungen beim Menschen	10,3	1,4	4,7	9,5	10,4	11,9	11,9
Interesseänderung VT NT	-,8	3,0	-9,2	-2,8	-,6	1,5	6,3
Interesseänderung NT BT	,6	3,2	-8,9	-1,7	,7	2,4	12,4
Interesseänderung VT BT	-1,4	3,7	-11,3	-3,4	-1,6	,9	6,1
Interesseänderung eth. Aspekte VT NT	,1	1,6	-4,2	-,9	,0	1,2	3,9
Interesseänderung eth. Aspekte NT BT	,9	1,8	-4,5	-,3	,9	2,1	6,1
Interesseänderung eth. Aspekte VT BT	,8	1,9	-4,5	-,3	,9	2,1	5,2
Interesseänderung Anw. Mensch							
VT NT I	-,4	1,2	-3,9	-1,3	-,2	,3	2,4
NT I NT II	-,1	1,3	-3,9	-,8	,0	,7	3,9
VT NT II	,3	1,3	-3,4	-,6	,0	,9	4,1

### 3.4.2 Gesamtgruppe Mädchen/MNG (N = 49)

	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
vorhandenes Interesse	25,2	4,0	14,1	23,3	25,5	28,0	33,8
VT Int.an ethischen Aspekten	8,1	2,3	2,4	6,7	8,2	9,7	12,1
VT Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,6	1,6	3,9	5,6	6,3	8,1	10,6
VT Int. an Anwendungen beim Menschen	10,5	1,5	5,4	9,5	11,0	11,9	11,9
aktuelles Interesse	24,9	3,9	15,8	22,5	25,4	27,3	33,0
NT I Int.an ethischen Aspekten	8,0	2,1	3,0	6,7	8,2	9,4	12,1
NT I Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,7	1,7	3,3	5,3	6,5	7,8	10,6
NT I Int. an Anwendungen beim Menschen	10,2	1,4	7,1	9,5	10,3	11,2	11,9
persistentes Interesse	23,7	3,4	17,5	21,2	22,8	26,3	30,6
NT II Int.an ethischen Aspekten	7,1	1,5	4,2	6,2	7,0	8,2	10,6
NT II Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,4	1,8	3,2	4,9	6,3	8,1	9,8
NT II Int. an Anwendungen beim Menschen	10,1	1,4	7,1	9,5	10,1	11,2	11,9
Interesseänderung							
VT NT I	-,3	3,0	-7,9	-2,6	-,4	1,8	6,2
NT I NT II	1,2	3,7	-6,4	-,7	1,0	3,5	8,5
VT NT II	-1,5	4,2	-9,1	-5,1	-1,1	,9	8,0
Interesseänderung eth. Aspekte							
VT NT I	-,1	1,5	-5,5	-,6	,0	,9	2,4
NT I NT II	,9	1,9	-3,6	,0	,9	2,1	4,8
VT NT II	1,0	2,2	-4,2	-,6	,9	2,6	5,4
Interesseänderung Anw. Mensch							
VT NT I	-,3	1,3	-3,0	-1,5	,0	,7	2,4
NT I NT II	,1	1,3	-2,6	-,7	,0	,9	4,1

VT NT II	,3	1,6	-4,2	-,7	,0	1,3	4,1
----------	----	-----	------	-----	----	-----	-----

**3.5 Externe Kontroll-Gruppe Mädchen (N = 17)**

	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
vorhandenes Interesse	25,0	4,5	14,1	22,1	24,9	29,1	32,1
VT Int.an ethischen Aspekten	7,9	2,7	2,4	6,5	7,6	10,1	12,1
VT Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,6	2,0	3,9	4,9	6,4	7,6	12,3
VT Int. an Anwendungen beim Menschen	10,5	1,7	5,4	9,5	11,0	11,9	11,9
aktuelles Interesse	25,3	3,8	17,3	21,8	26,6	28,0	29,8
NT I Int.an ethischen Aspekten	7,8	2,5	3,0	5,8	7,9	9,7	12,1
NT I Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	7,0	1,9	3,9	5,6	7,2	8,8	10,6
NT I Int. an Anwendungen beim Menschen	10,5	1,3	7,1	9,8	11,0	11,5	11,9
persistentes Interesse	24,4	3,2	19,3	22,2	24,5	27,0	29,9
NT II Int.an ethischen Aspekten	7,3	1,6	3,9	6,7	7,9	8,2	9,4
NT II Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,9	1,5	4,8	5,6	6,5	8,1	9,8
NT II Int. an Anwendungen beim Menschen	10,3	1,3	8,4	9,5	10,1	11,9	11,9
Interesseänderung							
VT NT I	,3	3,8	-8,0	-1,9	1,0	2,8	6,0
NT I NT II	,8	4,3	-6,4	-3,4	2,2	3,6	7,1
VT NT II	-,5	4,7	-9,7	-4,9	,6	2,9	7,9
Interesseänderung eth. Aspekte							
VT NT I	-,1	2,1	-5,5	-,6	,3	,9	3,3
NT I NT II	,5	2,7	-4,5	-1,2	,0	2,4	4,8
VT NT II	,6	2,7	-4,5	-1,1	,6	2,9	4,8
Interesseänderung Anw. Mensch							
VT NT I	,0	1,5	-3,0	-1,0	,0	1,3	2,4
NT I NT II	,2	1,5	-2,4	-,9	,0	,9	3,0
VT NT II	,2	1,8	-4,2	-,8	,0	1,3	2,6

**3.6 Externe Kontroll-Gruppe Mädchen/ nicht-MNG(N = 10)**

	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
vorhandenes Interesse	26,1	4,2	19,1	22,2	26,1	29,8	32,1
VT Int.an ethischen Aspekten	8,0	2,6	4,8	6,2	7,4	10,6	12,1
VT Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	7,3	2,2	3,9	6,0	7,2	8,1	12,3
VT Int. an Anwendungen beim Menschen	10,8	,9	9,5	10,0	10,7	11,9	11,9
aktuelles Interesse	25,0	3,1	19,0	21,9	26,0	26,9	29,3
NT I Int.an ethischen Aspekten	8,0	2,3	4,8	6,2	7,9	10,4	11,5
NT I Int. an Anwendungen der	6,5	2,1	3,9	4,7	6,1	8,8	9,7

Grünen Gentechnik							
NT I Int. an Anwendungen beim Menschen	10,4	1,2	8,6	9,3	10,6	11,4	11,9
persistentes Interesse	24,6	3,5	19,3	21,7	24,5	27,6	29,9
NT II Int. an ethischen Aspekten	7,6	1,8	3,9	7,1	8,2	8,5	9,4
NT II Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,9	1,5	5,6	5,6	6,5	7,8	9,8
NT II Int. an Anwendungen beim Menschen	10,0	1,4	8,4	8,8	9,5	11,9	11,9
Interesseänderung							
VT NT I	-1,1	3,7	-8,0	-3,8	-,1	1,3	4,1
NT I NT II	,5	3,8	-5,4	-2,9	1,9	2,5	7,1
VT NT II	-1,6	4,8	-9,7	-5,1	-2,6	3,1	5,4
Interesseänderung eth. Aspekte							
VT NT I	,0	2,1	-4,2	-,9	,0	1,5	3,3
NT I NT II	,4	2,4	-4,5	-1,1	,3	2,3	3,6
VT NT II	,4	2,5	-4,5	-1,1	,3	2,7	3,3
Interesseänderung Anw. Mensch							
VT NT I	-,3	1,5	-3,0	-1,2	-,5	,4	2,4
NT I NT II	,4	1,5	-1,7	-,9	,4	1,3	3,0
VT NT II	,7	1,2	-,9	-,2	,6	1,9	2,6

### 3.7 Schul-Gruppe Mädchen (N = 38)

	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
vorhandenes Interesse	25,1	4,0	18,4	22,3	24,7	28,1	36,3
VT Int. an ethischen Aspekten	8,0	2,0	4,8	6,5	7,9	9,7	12,1
VT Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,6	1,8	3,9	4,9	6,4	7,6	12,3
VT Int. an Anwendungen beim Menschen	10,6	1,4	6,9	9,5	11,1	11,9	11,9
aktuelles Interesse	25,0	4,0	15,5	22,3	25,2	27,5	34,5
NT I Int. an ethischen Aspekten	8,5	2,1	4,2	7,3	8,9	10,0	12,1
NT I Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,3	1,8	3,9	4,9	6,0	7,4	11,4
NT I Int. an Anwendungen beim Menschen	10,2	1,4	6,5	9,5	9,9	11,9	11,9
persistentes Interesse	24,7	3,3	18,1	22,5	24,3	26,1	34,6
NT II Int. an ethischen Aspekten	7,6	1,6	4,5	6,4	7,6	8,8	11,2
NT II Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,8	1,7	3,9	5,6	6,7	8,1	11,6
NT II Int. an Anwendungen beim Menschen	10,2	1,3	7,1	9,5	10,1	11,2	11,9
Interesseänderung							
VT NT I	-,1	2,8	-4,8	-2,3	-,6	2,1	6,3
NT I NT II	,3	2,9	-6,7	-1,6	,7	2,4	5,4
VT NT II	-,5	3,3	-8,6	-2,9	-,7	2,4	8,0
Interesseänderung							

eth. Aspekte							
VT NT I	,5	1,5	-2,4	-,6	,2	1,8	3,9
NT I NT II	,8	1,5	-2,1	-,3	,9	1,9	3,3
VT NT II	,3	1,4	-2,7	-,9	,6	1,3	2,7
Interesseänderung Anw. Mensch							
VT NT I	-,4	,9	-2,4	-1,0	-,2	,0	1,5
NT I NT II	,0	1,2	-3,9	-,5	,0	,7	2,4
VT NT II	,4	1,3	-3,4	-,3	,0	1,1	4,1

**3.8 Schul-Gruppe Mädchen/nicht-MNG (N = 29)**

	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
vorhandenes Interesse	25,8	3,8	18,4	22,8	26,1	28,3	36,3
VT Int.an ethischen Aspekten	8,4	1,8	5,1	7,3	8,2	9,7	12,1
VT Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,8	1,9	3,9	5,2	7,2	7,7	12,3
VT Int. an Anwendungen beim Menschen	10,7	1,4	6,9	9,5	11,2	11,9	11,9
aktuelles Interesse	25,6	3,8	15,5	23,3	25,7	27,6	34,5
NT I Int.an ethischen Aspekten	9,0	1,8	5,1	7,4	9,1	10,0	12,1
NT I Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,3	1,9	3,9	4,9	5,6	7,3	11,4
NT I Int. an Anwendungen beim Menschen	10,3	1,3	6,5	9,5	10,1	11,9	11,9
persistentes Interesse	24,8	3,3	19,3	22,5	24,4	26,1	34,6
NT II Int.an ethischen Aspekten	7,7	1,5	4,8	6,8	7,6	8,8	11,2
NT II Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,9	1,8	3,9	5,6	6,7	8,0	11,6
NT II Int. an Anwendungen beim Menschen	10,2	1,3	7,1	9,5	10,1	11,2	11,9
Interesseänderung							
VT NT I	-,3	3,0	-4,8	-2,7	-,6	2,2	6,3
NT I NT II	,8	2,7	-6,7	-1,1	,8	2,6	5,4
VT NT II	-1,1	3,1	-8,6	-3,1	-1,4	2,0	3,7
Interesseänderung eth. Aspekte							
VT NT I	,6	1,6	-2,4	-,6	,3	1,8	3,9
NT I NT II	1,2	1,3	-1,5	,2	1,2	2,6	3,3
VT NT II	,6	1,3	-2,7	-,1	,6	1,7	2,7
Interesseänderung Anw. Mensch							
VT NT I	-,4	,9	-2,4	-1,2	,0	,0	1,5
NT I NT II	,1	1,2	-3,9	-,2	,0	,7	2,4
VT NT II	,5	1,4	-3,4	,0	,7	1,2	4,1

**3.9 Labor-Gruppe Mädchen (N = 36)**

	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
vorhandenes Interesse	24,7	3,6	15,8	22,2	24,8	27,4	32,1
VT Int.an ethischen Aspekten	8,1	2,2	3,3	7,0	7,7	9,7	12,1
VT Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,7	2,0	2,5	5,6	6,5	8,1	10,6

VT Int. an Anwendungen beim Menschen	9,9	1,4	6,4	9,0	10,3	11,0	11,9
aktuelles Interesse	24,9	3,4	17,3	23,3	25,3	27,4	32,4
NT I Int.an ethischen Aspekten	8,6	2,1	3,9	7,3	8,9	10,0	12,1
NT I Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,4	1,7	3,2	4,9	6,5	7,4	10,6
NT I Int. an Anwendungen beim Menschen	9,9	1,1	8,0	9,5	9,5	10,8	11,9
persistentes Interesse	23,6	3,9	12,6	21,2	23,4	26,5	30,7
NT II Int.an ethischen Aspekten	7,3	1,5	3,9	6,4	7,3	8,3	10,6
NT II Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,4	1,7	2,5	5,0	6,4	8,1	9,1
NT II Int. an Anwendungen beim Menschen	9,9	1,7	4,7	8,8	9,8	11,7	11,9
Interesseänderung							
VT NT I	,3	1,9	-3,5	-1,6	,3	1,6	3,8
NT I NT II	1,3	3,8	-4,6	-1,6	,8	3,4	12,4
VT NT II	-1,0	4,2	-11,3	-4,1	-,3	2,0	6,1
Interesseänderung eth. Aspekte							
VT NT I	,5	1,3	-3,3	-,2	,6	1,4	4,0
NT I NT II	1,3	1,9	-2,7	,0	1,8	2,4	6,1
VT NT II	,8	2,1	-3,9	-,5	,9	2,3	5,4
Interesseänderung Anw. Mensch							
VT NT I	,0	1,2	-2,2	-1,0	,0	,9	2,4
NT I NT II	,0	1,3	-2,3	-,8	,0	,7	3,9
VT NT II	,0	1,6	-2,4	-1,5	,0	1,0	4,1

### 3.10 Labor-Gruppe Mädchen/nicht-MNG (N = 26)

	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
vorhandenes Interesse	25,2	3,7	17,3	22,2	25,2	27,7	32,1
VT Int.an ethischen Aspekten	8,3	2,1	3,6	7,2	8,2	10,4	12,1
VT Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	7,0	2,0	3,2	5,6	6,9	8,4	10,6
VT Int. an Anwendungen beim Menschen	9,9	1,4	6,4	8,9	10,3	11,0	11,9
aktuelles Interesse	25,3	3,6	18,8	23,2	25,8	28,0	32,4
NT I Int.an ethischen Aspekten	8,7	2,1	4,8	7,0	9,1	10,1	12,1
NT I Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,7	1,6	3,9	4,9	6,9	7,5	10,6
NT I Int. an Anwendungen beim Menschen	9,9	1,1	8,0	9,3	9,5	11,0	11,9
persistentes Interesse	24,2	4,0	12,6	22,2	25,4	26,7	30,7
NT II Int.an ethischen Aspekten	7,5	1,5	3,9	6,7	7,3	8,8	10,6
NT II Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,5	1,8	2,5	5,0	6,6	8,3	9,1



NT II Int. an Anwendungen beim Menschen	10,1	1,8	4,7	9,1	10,3	11,9	11,9
Interesseänderung							
VT NT I	,2	2,1	-3,5	-1,9	,2	1,8	3,8
NT I NT II	1,2	3,9	-4,6	-1,8	,5	3,4	12,4
VT NT II	-1,0	4,3	-11,3	-3,3	-,6	2,0	6,1
Interesseänderung eth. Aspekte							
VT NT I	,4	1,3	-3,3	-,1	,6	1,5	2,7
NT I NT II	1,2	1,8	-1,8	-,1	1,7	2,2	6,1
VT NT II	,8	2,0	-3,6	-,7	1,1	2,0	5,2
Interesseänderung Anw. Mensch							
VT NT I	,1	1,2	-2,2	-,9	,0	1,0	2,2
NT I NT II	-,1	1,4	-2,3	-,9	,0	,2	3,9
VT NT II	-,2	1,6	-2,4	-1,5	-,4	,9	4,1

### 3.11 Experimental-Gruppe Mädchen (N = 63)

	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
vorhandenes Interesse	27,0	3,2	16,1	24,8	27,0	29,6	33,8
VT Int.an ethischen Aspekten	8,8	2,0	3,9	7,6	9,1	10,3	12,1
VT Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	7,2	1,8	3,2	5,6	7,2	8,1	12,3
VT Int. an Anwendungen beim Menschen	11,0	1,1	5,6	10,6	11,2	11,9	11,9
aktuelles Interesse	25,4	3,3	15,8	23,5	25,5	27,3	33,0
NT I Int.an ethischen Aspekten	8,5	1,9	2,4	7,6	9,1	9,7	11,5
NT I Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,6	1,8	2,5	4,9	6,5	7,5	11,4
NT I Int. an Anwendungen beim Menschen	10,3	1,2	7,1	9,5	10,3	11,2	11,9
persistentes Interesse	24,6	3,3	17,5	22,1	24,2	27,4	31,4
NT II Int.an ethischen Aspekten	7,6	1,5	3,9	6,7	7,6	8,8	10,6
NT II Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,5	1,7	3,2	5,6	6,5	8,1	9,8
NT II Int. an Anwendungen beim Menschen	10,5	1,3	6,0	9,5	11,0	11,9	11,9
Interesseänderung							
VT NT I	-1,7	3,1	-9,2	-3,3	-2,0	,2	6,2
NT I NT II	,7	3,2	-8,9	-,8	,7	3,0	8,1
VT NT II	-2,4	3,6	-9,1	-5,5	-1,8	-,3	6,1
Interesseänderung eth. Aspekte							
VT NT I	-,3	1,5	-3,0	-1,5	-,3	,9	3,6
NT I NT II	,9	1,6	-2,4	,0	,9	1,8	3,6
VT NT II	1,2	1,9	-3,3	,0	1,5	2,4	4,8
Interesseänderung Anw. Mensch							
VT NT I	-,7	1,2	-3,9	-1,5	-,7	,0	1,7
NT I NT II	-,2	1,3	-3,0	-,8	,0	,7	4,1
VT NT II	,5	1,2	-2,2	,0	,0	1,3	4,1

### 3.12 Experimental-Gruppe Mädchen/nicht-MNG (N = 37)

	Mittelwert	Standard-	Minimum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil	Maximum
--	------------	-----------	---------	---------------	--------	---------------	---------

		abweichung					
vorhandenes Interesse	27,0	3,2	21,6	24,5	26,4	30,0	33,0
VT Int.an ethischen Aspekten	8,7	2,2	3,9	7,4	9,1	10,6	12,1
VT Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	7,2	1,9	3,2	6,0	7,2	8,1	12,3
VT Int. an Anwendungen beim Menschen	11,1	1,0	8,6	10,3	11,9	11,9	11,9
aktuelles Interesse	25,2	3,2	18,5	23,4	24,7	27,3	32,3
NT I Int.an ethischen Aspekten	8,3	2,2	2,4	7,3	9,1	10,0	11,5
NT I Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,5	1,8	2,5	4,9	6,3	7,4	11,4
NT I Int. an Anwendungen beim Menschen	10,4	1,1	8,0	9,5	10,3	11,2	11,9
persistentes Interesse	25,0	3,0	18,5	23,1	24,3	27,7	30,5
NT II Int.an ethischen Aspekten	7,7	1,5	3,9	7,1	8,2	8,8	10,6
NT II Int. an Anwendungen der Grünen Gentechnik	6,6	1,5	4,1	5,6	6,5	7,7	9,8
NT II Int. an Anwendungen beim Menschen	10,7	1,2	6,0	9,8	11,2	11,9	11,9
Interesseänderung							
VT NT I	-1,8	3,1	-9,2	-3,6	-1,4	,4	3,1
NT I NT II	,1	2,9	-8,9	-1,9	,7	2,4	6,2
VT NT II	-2,0	3,4	-8,2	-3,9	-1,7	-,4	6,1
Interesseänderung eth. Aspekte							
VT NT I	-,4	1,5	-3,0	-1,5	-,3	,5	3,6
NT I NT II	,6	1,8	-2,4	-1,1	,9	1,8	3,6
VT NT II	1,0	2,0	-3,3	,3	1,5	2,4	4,8
Interesseänderung Anw. Mensch							
VT NT I	-,7	1,1	-3,9	-1,5	-,7	,0	1,5
NT I NT II	-,3	1,2	-2,4	-,9	-,6	,3	3,4
VT NT II	,4	1,0	-1,9	,0	,0	,8	2,6

## **ERKLÄRUNG**

Hiermit erkläre ich, dass ich die Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst habe.

Ferner erkläre ich, dass ich anderweitig mit oder ohne Erfolg nicht versucht habe, diese Dissertation einzureichen. Ich habe keine gleichartige Doktorprüfung an einer anderen Hochschule endgültig nicht bestanden.

Bayreuth, 8. 6. 2005

(Franz-Josef Scharfenberg)