

Universität Bayreuth
Lehrstuhl Didaktik der Biologie

Untersuchungen zum Wissenserwerb, zur kognitiven Belastung und
zu emotionalen Faktoren im experimentellen Unterricht
über Grundlagen der Gentechnik im Lernort Labor
unter besonderer Berücksichtigung von Schülervorstellungen

(am Beispiel des Demonstrationslabors Bio-/Gentechnik der Universität Bayreuth
mit Schülern der 10. Klasse Realschule)

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften
- Dr. rer. nat. -

der Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften
der Universität Bayreuth

vorgelegt von

Gaitano Franke

2010

Diese Arbeit wurde während meiner Abordnung durch das Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultus in der Zeit von September 2007 bis August 2009 am Lehrstuhl für Didaktik der Biologie an der Universität Bayreuth unter der Leitung von Prof. Dr. Franz X. Bogner angefertigt. Die zweijährige Abordnung diente der Wahrnehmung von Aufgaben im Bereich des Demonstrationslabors Bio-/ Gentechnik sowie der Fertigstellung der Promotion.

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften der Universität Bayreuth genehmigten Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.).

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Stephan Clemens

Tag des Einreichens der Dissertation: 08. Februar 2010

Tag des wissenschaftlichen Kolloquiums: 14. Februar 2011

Prüfungsausschuss:

Prof. Dr. Franz X. Bogner (Erstgutachter)

Prof. Dr. Ludwig Haag (Zweitgutachter)

Prof. Dr. Ewald Komor (Vorsitzender)

Prof. Dr. Konrad Dettner

Prof. Dr. Olaf Stemmann

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen herzlich bedanken, die einen Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit geliefert haben.

Mein aufrichtiger Dank gilt Herrn Prof. Dr. Franz X. Bogner für die Überlassung des interessanten Themas, die Betreuung meiner Promotion, sein ständiges Interesse am aktuellen Stand der Arbeit und seine Bereitschaft zur Diskussion während der gesamten Dissertationszeit.

Des Weiteren möchte ich Herrn Dr. Franz-Josef Scharfenberg für seine vielfältigen Anregungen im Laufe der Arbeit sowie für seine wertvollen Hinweisen zu statistischen Auswertungen herzlich danken.

Mein weiterer Dank gilt allen Mitarbeitern des Lehrstuhls Didaktik der Biologie, insbesondere Frau Sabine Hübner für ihre große Hilfsbereitschaft.

Ebenso möchte ich dem Bayerischen Staatsministerium für Unterricht und Kultus danken, das mir die vorliegende Arbeit durch meine Abordnung an die Universität Bayreuth ermöglichte und die Durchführung einer Erhebung an Realschulen genehmigte.

Danken möchte ich auch dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz und der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung des Demonstrationslabors Bio-/ Gentechnik.

Ferner bin ich allen Kolleginnen und Kollegen mit ihren Schülern zu Dank verpflichtet, die an der Untersuchung teilgenommen haben.

Abschließend möchte ich meiner Frau Angelika und meinen Töchtern Julika und Emilia einen herzlichen Dank aussprechen, die mich in der Vergangenheit immer unterstützt und motiviert haben.

Inhaltsverzeichnis

1.	Summary	1
2.	Zusammenfassung	2
3.	Ausführliche Zusammenfassung	4
	3.1. Einleitung und Untersuchungsdesign	4
	3.2. Ergebnisse und Diskussion (Synopsis)	21
4.	Literaturverzeichnis der Ausführlichen Zusammenfassung	28
5.	Liste der Publikationen	36
6.	Darstellung des Eigenanteils	37
7.	Teilarbeiten	38
	7.1. Teilarbeit A	38
	7.2. Teilarbeit B	62
	7.3. Teilarbeit C	97
	7.4. Teilarbeit D	138
8.	Anhang	167
	8.1. Schreiben des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht und Kultus ...	168
	8.1.1. Schreiben zur Abordnung	169
	8.1.2. Schreiben zur Genehmigung der Erhebung	172
	8.2. Unterricht im Demonstrationslabor Bio-/ Gentechnik	174
	8.3. Praktikumsunterlagen für die Schüler	176
	8.3.1. Versuchsanleitungen für die Schüler	179
	8.3.2. Bildquellen der Versuchsanleitungen	193
	8.4. Fragebögen	195
	8.4.1. Fragebogen zur Erhebung von Schülervorstellungen	196
	8.4.2. Informationsblatt und Fragebogen zu soziodemografischen Daten ...	198
	8.4.3. Fragebogen zu den Schülervorstellungen	201
	8.4.4. Test zum Wissenserwerb	204
	8.4.5. Fragebogen zur kognitiven Belastung	209
	8.4.6. Fragebogen zu den Unterrichtsemotionen (situationsbezogene Emotionen)	211
	8.4.7. Fragebogen zum Interesse an der Gentechnik	213
9.	Erklärung	215

1. Summary

Gene technology is part of the official 10th grade syllabus of the 6-stage “Realschule” in Bavaria (i.e. medium achieving high school students). Within the Gene-technology Demonstration Laboratory of the University of Bayreuth 293 male and female students from 13 North-Bavarian classes attended the intervention programme. The educational module included an understanding of the basics of gene technology in a practical lesson unit; the involved experiments dealt with restriction and ligation of DNA, transformation of *E. coli*-bacteria, as well as an inoculation of the bacterial samples on agar plates.

Three empirical studies supported the evaluation of the teaching success of these experimental lessons: The study examined the effects on different cognitive factors, such as knowledge acquisition or mental effort, but also on affective factors, such as state-emotions (e.g., interest and well-being), as well as possible conceptual change. A main focus was laid on effects when students’ alternative conceptions were considered as bases to build upon the lesson unit. For this purpose, the students were split into two intervention groups (I-1, I-2). Both groups received the same experimental lessons in the Demonstration Laboratory with one difference: students in I-2 were additionally confronted with alternative conceptions of gene technology. These conceptions about eight concepts and processes of gene technology of 144 students had initially been collected and categorized in another study. The inclusion of these conceptions was realised on the basis of a constructivist teaching model.

The results of all three empirical studies proved that dealing with students’ alternative conceptions in those lessons affected the learners positively in various ways: male and female students of I-2 (“alternative conceptions”) were more interested and showed a higher well-being than those in I-1. They also achieved significantly better results in the knowledge-tests conducted after the lessons, while they showed a lowered mental effort. Additionally, the students of this group replaced alternative conceptions with the specialised scientific conceptions. The special effect of the confrontation method on the male students has to be emphasised: In contrast to female students, they felt increasingly encouraged by a consideration of their conceptions in the lessons.

Taking all these positive results together, an expansion of the capture of students’ alternative conceptions about other subjects is advisable in order to support the teaching situations.

2. Zusammenfassung

Gentechnik ist ein aktuelles Thema des Biologieunterrichtes der 10. Jahrgangsstufe des Lehrplans der sechsstufigen Realschule in Bayern. Um eine praktische Auseinandersetzung mit dieser Thematik zu ermöglichen, wurde das Demonstrationslabor Bio-/ Gentechnik des Lehrstuhls Didaktik der Biologie an der Universität Bayreuth seit 2007 erstmals auch für dieses Schülerklientel zugänglich gemacht. In einem mehrstündigen Praktikumsunterricht wurden 293 Schülerinnen und Schülern aus 13 nordbayerischen Realschulklassen Grundlagen der Gentechnik näher gebracht, indem Experimente zu den einzelnen Schritten eines Klonierungsversuchs (Restriktion und Ligation von DNA, Transformation von *E. coli*-Bakterien, Ausplattieren von Bakterien) durchgeführt wurden.

Gleichzeitig zu den Praktika wurden drei Begleitstudien durchgeführt, deren Zweck die Evaluation des Unterrichtserfolgs war: Hierbei sollte überprüft werden, welche Auswirkungen der Praktikumsbesuch auf verschiedene kognitive Faktoren, wie den Wissenserwerb oder die geistige Anstrengung, aber auch auf affektive Faktoren, wie situationsbezogene Emotionen (z.B. Interesse und Wohlbefinden), hat. Weiterhin sollte der Frage nachgegangen werden, ob ein Konzeptwechsel in diesem Rahmen möglich ist. Ein Schwerpunkt lag dabei auf der Beobachtung der Auswirkungen einer Berücksichtigung von Schülervorstellungen im Unterricht. Zu diesem Zweck wurden die Schülerinnen und Schüler klassenweise auf zwei Interventionsgruppen (I-1, I-2) verteilt. Beide Gruppen erhielten im Demonstrationslabor denselben experimentellen Unterricht mit dem Unterschied, dass die Lernenden in I-2 zusätzlich mit Schülervorstellungen zur Gentechnik konfrontiert wurden. Dazu wurden in einer zuvor durchgeführten Studie die Vorstellungen von 144 Schülerinnen und Schülern zu acht Begriffen und Prozessen der Gentechnik erfasst und kategorisiert sowie anschließend in die Unterrichtskonzeption integriert. Die unterrichtliche Umsetzung orientierte sich dabei an einem konstruktivistischen Lehrmodell.

Die Ergebnisse der drei Begleitstudien ergaben, dass sich die Behandlung von Schülervorstellungen im Unterricht in vielerlei Hinsicht positiv auf die Lernenden auswirkte: So zeigten sich die Schülerinnen und Schüler der Gruppe I-2 interessierter und fühlten sich wohler. Auch erzielten sie signifikant bessere Ergebnisse im Wissenstest, der im Anschluss an den Unterricht durchgeführt wurde, bei gleichzeitig verringerter geistiger Anstrengung. Es ist auch in dieser Gruppe gelungen, einen Konzeptwechsel zugunsten der fachwissenschaftlichen Vorstellungen zu erzielen. Hervorzuheben war die besondere Wirkung der Konfrontations-

methode auf die Schüler, die sich durch die Berücksichtigung ihrer Vorstellungen - im Gegensatz zu Schülerinnen - verstärkt angesprochen fühlten.

Ausgehend von diesen positiven Ergebnissen empfiehlt es sich, die Erfassung von Schülervorstellungen auf weitere Themen auszudehnen, um es den Lehrern zu ermöglichen, in vielen Unterrichtssituationen auf diese zurückgreifen zu können.

3. Ausführliche Zusammenfassung

3.1. Einleitung und Untersuchungsdesign

Gentechnik ist ein Thema des Biologielehrplans für die 10. Jahrgangsstufe der sechstufigen Realschule in Bayern (B 10.2 Genetik: Angewandte Genetik; Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, 2001). Dahinter verbirgt sich eines der aktuellsten Forschungsgebiete der Biologie, in welchem ständig neue Entwicklungen hervorgebracht werden (Saka, Cerrah, Akdeniz & Ayas, 2006). Weiterhin bietet es viel Gesprächsstoff, da Gentechnik zum einen ständig medial präsent ist und zum anderen jeden einzelnen betrifft, z.B. im Zusammenhang mit der Produktion von Nahrungsmitteln oder Medikamenten. Im Unterricht findet fast ausschließlich eine theoretische Auseinandersetzung mit dieser Thematik statt, da eine praktische, selbstständige Übung grundlegender Arbeitsweisen der Gentechnik durch die Schüler an den Schulen meist v. a. aus finanziellen und/oder organisatorischen Gründen nicht möglich ist. Wenn Experimente zum Thema Gentechnik eingesetzt werden, dann in der Regel nur vom Lehrer als Demonstrationsversuch zur Veranschaulichung, eigenständiges Experimentieren spielt generell im naturwissenschaftlichen Unterricht in Deutschland kaum eine Rolle (z.B. Baumert & Köller, 2000; Tesch & Duit, 2004). Doch gerade in den naturwissenschaftlichen Fächern sollte das Üben fachgemäßer Arbeitsweisen aus verschiedensten Gründen, wie der Gewinnung biologischer Erkenntnisse oder der Förderung der Selbsttätigkeit, einen hohen Stellenwert besitzen (z.B. Killermann, Hiering & Starosta, 2005). Dies ist eine Ursache für Gründung von etwa 200 Schülerlaboren in Deutschland durch die Industrie, Forschungseinrichtungen und Universitäten in den vergangenen Jahren (Hillebrandt & Dähnhardt, 2005). Auch in Bayreuth existiert ein solches Schülerlabor: Das Demonstrationslabor Bio-/ Gentechnik bietet seit 2002 Kurse für Kollegiaten (12. Jahrgangsstufe) mit Leistungskurs Biologie aus Gymnasien der Region sowie für Studenten des Lehramtes Biologie/Chemie an. Im Rahmen meiner Abordnung an den Lehrstuhl Didaktik der Biologie der Universität Bayreuth durch das Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultus (siehe Anhang 8.1.1.) sollte das bestehende Angebot um einen Unterricht für Realschüler erweitert werden, in dem die Kenntnis der grundlegenden Arbeitsschritte der Gentechnik vermittelt wird. Dies ist jedoch nicht der einzige Aspekt, der beim Besuch eines Schülerlabors im Mittelpunkt stehen sollte. Den Schülern soll es im außerschulischen Lernort Labor auch ermöglicht werden, „durch experimentelles Arbeiten authentische und praktische Lernerfahrungen jenseits des

konventionellen Unterrichtes zu machen“ (Euler, 2001), sowie „dabei gleichzeitig in den angegliederten Forschungseinrichtungen einen Einblick in authentische Wissenschaft zu erlangen“ (Glowinski, 2007, S. 1). Auf diese Weise erhalten die Schüler Informationen über die Berufsbilder von Naturwissenschaftlern, was ihnen möglicherweise bei der beruflichen Orientierung helfen kann (Glowinski, 2007).

Augrund der gut kontrollierbaren Lehr- Lernsituationen im Schülerlabor ist eine Möglichkeit zur Evaluation gegeben. Bisherige Studien konnten für experimentellen Laborunterricht eine deutlich höhere Akzeptanz im Vergleich zu herkömmlichen Unterricht aufzeigen (z.B. Scharfenberg, 2005). Auch das Interesse der Schüler an den Bedingungen der neuen Lernumgebung ist groß (Glowinski, 2007). Studien zum Wissenserwerb im Laborunterricht sind dagegen eher selten. Bisher existieren dazu nur Ergebnisse von Kollegstufenschülern aus Nordbayern (Scharfenberg, 2005; Scharfenberg & Bogner, 2010; Scharfenberg, Klautke & Bogner, 2007).

Neben den beschriebenen Vorteilen, bringt der Besuch eines Schülerlabors auch Schwierigkeiten für die Schüler mit sich. Harlen (1999) spricht dabei allgemein von „shortcomings of practical work“. Durch die Vielzahl der Aufgaben, die die Schüler beim selbstständigen Experimentieren z. T. gleichzeitig erledigen müssen, ist die Gefahr einer kognitiven Überlastung groß. Diese wird bei Schülern in Laboren generell erwartet (Johnstone & Wham, 1982), was auch negative Auswirkungen auf die Schülerleistungen im Unterricht haben kann. Scharfenberg (2005) stellte hierzu fest, dass sich die „Cognitive-Load-Theorie“ (Sweller, Merriënboer & Paas, 1998) als geeignet erwiesen hat, um die bei einem Wissenstest erhaltenen Ergebnisse zu interpretieren. Nach dieser Theorie wird die kognitive Belastung („cognitive load“) als „a construct representing the load that performing a particular task imposes on the cognitive system“ angesehen (Sweller, Merriënboer & Paas, 1998, S. 266). Die Grundlage dieser Theorie ist das „Mehrspeichermmodell des menschlichen Gedächtnisses“ (Atkinson & Shiffrin, 1968). Damit Wissen in Form kognitiver Schemata im Langzeitgedächtnis gespeichert werden kann, muss es zunächst über das sensorische Gedächtnis in das Kurzzeitgedächtnis (Arbeitsgedächtnis) gelangen, dort verarbeitet und schließlich in das Langzeitgedächtnis übertragen werden. Im Gegensatz zum Langzeitgedächtnis besitzt das Arbeitsgedächtnis nur eine begrenzte Kapazität. Aus diesem Grund kann man die oben angesprochene kognitive Belastung eines Lernenden mit der mentalen Aktivität des Arbeitsgedächtnisses gleichsetzen (Baddeley, 1992). Bei der kognitiven Belastung unterscheidet man zwischen drei verschiedenen Komponenten. Die inhaltsbezogene kognitive Belastung („intrinsic cognitive load“, Chandler & Sweller, 1991)

ist die Belastung, die durch den Lerninhalt selbst bedingt ist. Ein schwieriger oder komplexer Lerninhalt erhöht diese Form der kognitiven Belastung. Weiterhin ist noch der „extent to which the elements that constitute the information interact“ zu berücksichtigen (Sweller, 2003). Können Elemente unabhängig voneinander gelernt und verstanden werden, sind die Elementinteraktivität und auch die inhaltsbezogene kognitive Belastung niedrig, da auch das Arbeitsgedächtnis wenig belastet wird (Sweller, Merriënboer & Paas, 1998). Die Komponente der kognitiven Belastung, die durch die Gestaltung des Unterrichts beeinflusst wird, ist die unterrichtsbezogene kognitive Belastung („extraneous cognitive load“, Sweller, Merriënboer & Paas, 1998). Hierbei spielen das Design und die Organisation des Lernmaterials eine Rolle (Kalyuga, Chandler & Sweller, 1998): Der Verzicht auf überflüssige Informationen und Wiederholungen kann die Belastung verringern (Sweller, Merriënboer & Paas, 1998). Die lernbezogene kognitive Belastung („germane cognitive load“, Sweller, Merriënboer & Paas, 1998) ist die dritte Komponente. Sie ist bedingt durch „the development of cognitive schemata, which requires extra working memory capacity“ (Schnotz & Kürschner, 2007).

Es ist zu erwarten, dass aufgrund der Vielzahl der zu bewältigenden Tätigkeiten im Schülerlabor, wie z.B. das Lesen der Versuchsanleitungen, den Gebrauch bisher unbekannter Gerätschaften, die Durchführung von Messungen oder für ein erfolgreiches Arbeiten notwendige Kommunikation innerhalb der Schülergruppen dort bei den Schülern eine höhere kognitive Belastung als im Vergleich zum nichtexperimentellen Unterricht auftritt (Winberg & Berg, 2007). Auch das Thema „Gentechnik“ stellt aufgrund seiner Inhaltsdichte noch zusätzlich hohe geistige Anforderungen an die Schüler dar, „causing a corresponding high intrinsic load“ (Scharfenberg, Bogner & Klautke, 2007, S. 36). Diese Belastung könnte auch den Lernerfolg der Schüler im Schülerlabor negativ beeinflussen. Engeln und Euler (2004) sprechen sogar davon, dass „man von einem einmaligen Laborbesuch kaum Effekte im kognitiven Bereich erwarten kann“. Auch kann sich der „novelty factor“ durch die für die Schüler neue Lernumgebung hemmend auf die kognitiven Leistungen auswirken (Bohl, 2001; Kagan & Fasan, 1988; Randler & Bogner, 2002).

Messen lässt sich die kognitive Belastung auf drei Arten, nämlich durch physiologische und leistungsbezogene Messverfahren sowie durch subjektive Selbsteinschätzung (Eggemeier, 1988). Bei der letztgenannten Messmethode, die auch in dieser Studie eingesetzt wurde, tragen die Teilnehmer die empfundene Schwierigkeitsstufe auf einer Skala von eins bis neun ein (z.B. Paas & Merriënboer, 1994). Im Zusammenhang mit der Messung der kognitiven Belastung spricht man von „geistiger Anstrengung“ („mental effort“). Dieser Index für die kognitive Belastung ist „the total amount of controlled cognitive processing in

which a subject is engaged“ (Paas & Merriënboer, 1993, S. 738). Um Aussagen über die instruktionale Effizienz („instructional efficiency“) des Unterrichtes machen zu können, haben Paas und Merriënboer (1993) die geistige Anstrengung der Lernenden mit ihren dabei erzielten kognitiven Leistungen in Beziehung gesetzt.

Schüler, die das Bayreuther Demonstrationslabor Bio-/ Gentechnik besuchen, kommen aber nicht als „unbeschriebenes Blatt“ in den dortigen Unterricht. Sie haben auf Grund von Erfahrungen aus der alltäglichen Lebenswelt, z.B. durch die Medien oder den Freundeskreis, bereits feste Vorstellungen zu Begriffen der Genetik bzw. Gentechnik entwickelt (z.B. Saka, Cerrah, Akdeniz & Ayas, 2006). Bereits 1968 stellte Ausubel fest: „Der wichtigste Faktor, der das Lernen beeinflusst, ist, was der Lernende schon weiß. Man berücksichtige dies und lehre entsprechend“ (Ausubel, 1968, S. vi). Diese Forderung von Ausubel wurde in der jüngeren Vergangenheit von Psychologen und Didaktikern im Hinblick auf die Gestaltung von Unterricht immer wieder aufgegriffen, z.B. im Rahmen der „Conceptual Change-Theorie“ (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982) oder des „Modells der Didaktischen Rekonstruktion“ (Kattmann, Duit & Gropengießer, 1998). In beiden Forschungsansätzen bildet die Erfassung von Schülervorstellungen sowie ihre Berücksichtigung durch den Lehrer die Grundlage für erfolgreichen Unterricht. In der Literatur variieren die Bezeichnungen für den Begriff „Schülervorstellungen“ sehr stark. So sprechen manche Wissenschaftler von „Fehlvorstellungen“ (Hilbing & Barke, 2004), „Alltagsvorstellungen“ (Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek, 1997) oder sogar „Alltagsphantasien“ (Gebhard, 1999) und geben damit gleichzeitig ihre Bewertung für die Bedeutung von Schülervorstellungen ab. Mit der Bezeichnung „Alltagsphantasien“ beispielsweise werden Schülervorstellungen um die „Tiefendimension der intuitiven Vorstellungen erweitert, was eine eigenständige Betrachtung der meist kulturell und biographisch verwurzelten Alltagsphantasien nach sich zieht“ (Gebhard, 2007). Grundsätzlich lässt sich übereinstimmend festhalten, dass Schüler feste Vorstellungen oder Einstellungen zu verschiedensten Themen entwickelt haben, die normalerweise sehr stark von den fachlichen Vorstellungen differieren (z.B. Morrison & Lederman, 2003; Palmer, 1999; Treagust, 1988). Dies ist ein Grund, dass Schüler den gelehrten (naturwissenschaftlichen) Unterrichtsgegenstand nicht in der Weise verstehen, wie es der Lehrende eigentlich erwartet. Den Schülern mangelt es dabei zumeist am Bezug zu ihrer eigenen Lebenswelt. Sie stufen fachwissenschaftliche Inhalte meist nur dann als bedeutsam ein, wenn ihre eigenen Vorstellungen und Sichtweisen eine Berücksichtigung finden (Born, 2007). Es gibt eine Reihe von Untersuchungen, die sich mit der qualitativen Erfassung von Schülervorstellungen zu verschiedensten Themen beschäftigen, z.B. auch zur

Genetik (Born, 2007; Kattmann, Frerichs & Gluhodowod, 2005; Lewis & Kattmann, 2004; Lewis, Leach & Wood-Robinson; Lewis & Wood-Robinson, 2000).

Im deutschsprachigen Raum hat sich eine didaktische Arbeitsgruppe um U. Kattmann mit der Bedeutung von Schülervorstellungen und ihrer Integration in den Schulunterricht beschäftigt und in diesem Zusammenhang das so genannte „Modell der didaktischen Rekonstruktion“ entwickelt (Kattmann, Duit & Gropengießer, 1998). In diesem wird eine enge Verknüpfung von fachlichen Inhalten und Schülervorstellungen gefordert. Durch die gleichwertige Beachtung beider Aspekte und den wechselseitigen Bezug aufeinander, lässt sich daraus Unterricht konstruieren (z.B. Unterrichtsprinzipien, -leitlinien und -elemente). Schülervorstellungen stellen demnach eine wesentliche Basis für das schulische Lernen dar.

Eine international anerkannte Lerntheorie zur Veränderung von ursprünglichen Vorstellungen haben Posner, Strike, Hewson und Gertzog 1982 vorgestellt. Nach dieser „Theorie des Konzeptwechsels“ („Conceptual change“-Theorie) ist die individuelle Übernahme fachwissenschaftlicher Vorstellungen durch Schüler am ehesten dann möglich, wenn bestimmte Rahmenbedingungen erfüllt sind: Zunächst muss eine Unzufriedenheit der Schüler mit ihren „alten“ Vorstellungen bestehen. Die neue Vorstellung muss logisch verständlich und einleuchtend sein sowie sich in neuen Situationen als fruchtbar erweisen. Nur so kann sie von den Schülern angenommen werden. In der ursprünglichen Fassung sollte sich die neue Sichtweise sprunghaft herausbilden (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982). Neuere Veröffentlichungen sehen es eher als einen langsamen, kontinuierlichen Lernprozess an (Limón, 2001). Weitere Kontroversen gibt es im Bezug auf den Verbleib der Schülervorstellungen nach einem erfolgreichen Konzeptwechsel: Spada (1994) sieht beispielsweise in einem erfolgreichen Konzeptwechsel nicht den Austausch von Schülervorstellungen durch die wissenschaftlichen Vorstellungen, sondern eine Koexistenz verschiedener Vorstellungen, die je nach Situation gebraucht werden können.

In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche Interventionsstudien über den möglichen Konzeptwechsel und damit verknüpfte Variablen durchgeführt, u. a. auch im Fach Biologie (z.B. Evolution: Jensen & Finley, 1995 oder Genetik: z.B. Duncan & Reiser, 2007; Tsui & Treagust, 2007; Venville & Treagust, 1998). Von einigen Wissenschaftlern konnten dabei auch signifikante Leistungsunterschiede von Schülerinnen und Schülern festgestellt werden, wobei Schülerinnen in Wissenstests meist besser abgeschnitten haben (z.B. Alparslan, Tekkaya & Geban, 2003; Pearsall, Skipper & Mintzes, 1997).

Im Hinblick auf die unterrichtliche Umsetzung der Theorie des Konzeptwechsels existieren diverse Instruktionsmodelle, wobei an dieser Stelle nur kurz auf die „constructivist

teaching sequence“ (Driver, 1989) näher eingegangen werden soll, da sie im Rahmen dieser Arbeit (in veränderter Form) angewendet wurde. Dieses Instruktionsmodell ist in fünf Phasen gegliedert. In der ersten Phase des Unterrichtes findet zunächst eine Orientierung statt, danach sollen Schülervorstellungen „hervorgehoben“ werden. Anschließend erfolgt eine Umstrukturierung der Schülervorstellungen. Dabei finden eine Klärung und ein Austausch statt, einzelne Vorstellungen werden Konfliktsituationen ausgesetzt, neue Vorstellungen konstruiert und bewertet. Es schließt sich die Anwendung der neuen Vorstellungen sowie eine zusammenfassende Bewertung der Änderungen an. Abgeschlossen wird die „constructivist teaching sequence“ durch einen Vergleich der neuen und alten Vorstellungen. Im Rahmen dieser Arbeit musste in dem von mir durchgeführten Unterricht auf diese letzte Phase aus Zeitgründen verzichtet werden. In der „constructivist teaching sequence“ ist ein so genannter kognitiver Konflikt für den angestrebten Konzeptwechsel unverzichtbar. Dabei kann es sich nach Hewson (1988) und Stavy und Berkovitz (1980) entweder um einen Konflikt zwischen verschiedenen kognitiven Strukturen über das gleiche Phänomen oder zwischen existierenden Vorstellungen und experimentellen Ergebnissen handeln.

Einige Wissenschaftler (z.B. Pintrich, Marx & Boyle, 1993) kritisierten an dem vorgestellten klassischen Modell des Konzeptwechsels von Posner et al. vor allem dessen einseitige Konzentration auf kognitive Aspekte, während beispielsweise affektive Faktoren außen vor blieben. Modernere Ansätze des Konzeptwechsels beachten neben kognitiven Aspekten unter anderem auch ontologische Überzeugungen der Lernenden (z.B. Duit & Treagust, 2003; Treagust & Duit, 2008) sowie motivational-psychologische Faktoren (z.B. Pintrich, Marx & Boyle, 1993). Aber auch der kulturelle Kontext (z.B. Caravita & Halldén, 1994; Säljö, 1999) sowie die Lernumgebung (z.B. Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou & Papademetriou, 2001) finden Berücksichtigung. In diesem Zusammenhang wurde beispielsweise ein „multidimensional interpretive framework“ für den Konzeptwechsel entwickelt (Thyson, Venville, Harrison & Treagust, 1997), in dem ontologische, soziale, affektive and epistemologische Aspekte bedacht werden.

Auch in anderen Studien, in denen schulische Lehr- und Lernsituationen untersucht wurden, analysierte man zunächst ausschließlich kognitive Prozesse, während man die Bedeutung des emotionalen Bereichs vernachlässigte (z.B. Anderson, 2001; Brown, Collins & Deguid, 1989; Lefrancois, 1994). Inzwischen existiert bereits eine Vielzahl von Untersuchungen über Emotionen, v. a. über die Angst (z.B. Hembree, 1988; Izard, 1994; Laux, Glanzmann, Schaffer & Spielberger, 1981). Meist jedoch wurden aber nur Einzelemotionen ohne Zusammenhang zu den vermittelten Unterrichtsinhalten untersucht

(Laukenmann et al., 2003). Erst in der jüngeren Vergangenheit wurde die tatsächliche Bedeutung des Zusammenwirkens von Emotionen, Motivation und Kognition im Lernprozess erkannt (Meyer & Turner, 2002). Schüler erleben in unterrichtlichen Lern- und Leistungssituationen eine Vielzahl von Emotionen, sowohl positive, wie z.B. Freude, Interesse oder Erleichterung, als auch negative, wie z.B. Ärger, Angst oder Langeweile (Pekrun, 1998). Emotionen spielen eine große Rolle bei der Motivationsbildung, der Beeinflussung des Lernverhaltens sowie metakognitiver Prozesse (Pekrun & Schiefele, 1996). Nach Ulich und Mayring (1992) lassen sich Emotionen in situationsbezogene oder situative Emotionen („state-emotions“) sowie überdauernde, persönlichkeitsbezogene Emotionen („trait-emotions“) unterteilen. Überdauernde Emotionen kann man auch als individuelle Persönlichkeitsdispositionen bezeichnen, die sich z.B. auf das Schulfach oder Themengebiet beziehen. Situationsbezogene Emotionen sind aktuelle Gefühlszustände einzelner Personen und z.B. vom Kontext der augenblicklichen Unterrichtsstunde abhängig. Dazu liegen verschiedene Studien vor, in denen die Ausprägung situationsbezogener Emotionen wie Wohlbefinden, Interesse, Angst und Langeweile bei Schülern in verschiedenen Fächern untersucht wurden (z.B. Gläser-Zikuda, 2001, Gläser-Zikuda, Fuß, Laukenmann, Metz & Randler, 2005; Gläser-Zikuda & Mayring, 2003; Laukenmann & Rhöneck, 2003). Vereinzelt ließen sich dabei auch Unterschiede in der Stärke der empfundenen Emotionen (Interesse, Wohlbefinden) zwischen Schülerinnen und Schülern nachweisen (z.B. Fuß & Gläser-Zikuda, 2003; Gläser-Zikuda & Fuß, 2004; Hoffmann & Lehrke, 1986).

Aufgrund seiner Sonderstellung sowie seiner Bedeutsamkeit für die vorliegende Arbeit soll auf den Begriff „Interesse“ näher eingegangen werden. Laukenmann et al. (2003) grenzen beispielsweise Interesse von reinen emotionalen Variablen, wie dem Wohlbefinden, Angst oder Langeweile, ab und ordnet es den kognitiv-emotionalen Variablen zu. Krapp (2002) führt drei Merkmalskomponenten des Interesses auf, eine emotionale, eine epistemische sowie eine wertbezogene Komponente. Bei der emotionalen Komponente tritt Interesse in Verbindung mit positiven Gefühlen auf, es ist daher eher situationsbezogen. Hat der Interessensgegenstand eine herausragende subjektive Bedeutung für Jemanden, so spricht man von der wertbezogenen Komponente. Die epistemische Komponente entspricht der „kognitiv-rezeptive(n) Form von Interesse“ (Finke, 1998, S. 60) und dient zur Wissenserweiterung. Mit dieser Interessenskomponente beschäftigten sich Häussler und Hoffmann in verschiedenen Studien über schulischen Physikunterricht (z.B. Häussler, 1987; Hoffmann, 2002). Eine weitere Einteilung von Interesse kann auf der zeitlichen Ebene erfolgen, hier lässt sich wiederum zwischen situationalem und individuellem Interesse

unterscheiden (Krapp, 2002). Nach dem Vier-Phasen-Modell zur Interessenentwicklung („Four-phase model of interest development“) von Hidi und Renninger (2006) ist eine Weiterentwicklung von situationalem zum individuellen Interesse möglich.

Ausgehend von den oben beschriebenen Forschungserkenntnissen über kognitive Belastung, Schülervorstellungen, Konzeptwechsel sowie Unterrichtsemotionen wurde ein Unterricht über Grundlagen der Gentechnik entwickelt, in dem der Lehrer auf Schülervorstellungen zu diesem Thema eingeht. Dabei sollte überprüft werden, inwieweit dies Auswirkungen auf verschiedene kognitive Faktoren, wie den Wissenserwerb und die kognitive Belastung, aber auch auf affektive Faktoren, wie die oben beschriebenen situationsbezogenen Emotionen, hat. Weiterhin sollte der Frage nachgegangen werden, ob ein Konzeptwechsel in diesem Rahmen möglich ist. Die dazu notwendige Durchführung einer Datenerhebung wurde durch das Bayerische Ministerium für Unterricht und Kultus genehmigt (siehe Anhang 8.1.2.). Der entsprechende Unterricht fand im Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik der Universität Bayreuth statt, da er an den Schulen aus verschiedenen Gründen (z.B. fehlendes Material, fehlende Geldmittel, organisatorische Schwierigkeiten) nicht durchführbar ist. An den elf Kursen nahmen insgesamt 293 Schüler der 10. Jahrgangsstufe (139 Mädchen, 154 Jungen) von zehn verschiedenen nordbayerischen Realschulen teil. Ihr Alter lag zwischen 15 und 19 Jahren (Durchschnittsalter 16,1; $SD = 0,76$). Gentechnik stellte dabei für alle Teilnehmer ein bisher nicht im Unterricht behandeltes Thema dar, jedoch besaßen alle Grundkenntnisse zur Genetik. Diese haben die Schüler etwa 19 Stunden im Biologieunterricht der 10. Jahrgangsstufe gemäß dem gültigen Lehrplan für die sechsstufige bayerische Realschule erworben (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, 2001). Für die vorliegende Studie wurden insgesamt drei Testgruppen benötigt. Dazu wurden die 293 Schüler auf zwei Interventionsgruppen aufgeteilt, eine weitere externe Schülergruppe bildete die Kontrollgruppe. Für das quasi-experimentelle Design der Studie wurde ein Prä-Posttest-Design mit einem Follow-up-Test nach sechs Wochen (Vortest, Nachtest und Behaltenstest) angewandt (siehe Tabelle 1). Allen Interventions-Gruppen (d.h. außer der externen Kontrollgruppe) wurden im etwa 360-minütigen Unterricht identische Lerninhalte vermittelt. Es sollten acht Grobziele erreicht werden, die sich in 18 Feinziele aufgliedern ließen (siehe Anhang 8.2.). Als zentrales Medium wurde eine Powerpoint-Präsentation eingesetzt. Alle Interventionsgruppen wurden von mir unterrichtet, um den Faktor Lehrperson konstant zu halten. Die einzelnen Gruppen werden im Folgenden kurz vorgestellt:

Die Interventionsgruppe 1 (I-1; $n = 137$) nahm am Laborunterricht teil und führte jeweils nach einer theoretischen Einführung die experimentellen Aufgaben durch (vgl. S. 14f).

Die Interventionsgruppe 2 (I-2; $n = 156$) erhielt im Lernort Labor denselben experimentellen Unterricht wie auch die Interventionsgruppe 1 mit dem Unterschied, dass die Schüler zusätzlich mit Schülervorstellungen zum Thema Gentechnik konfrontiert wurden, um einen Konzeptwechsel zu erreichen. Der Vergleich mit der Interventionsgruppe 1 soll die Bedeutsamkeit der Berücksichtigung von Schülervorstellungen im Unterricht herausstellen.

Die Schüler der externen Kontroll-Gruppe (K; $n = 75$) erhielten keinerlei Unterricht über Gentechnik, sie absolvierten an ihrer Schule nur den Vor- und Behaltenstest. Damit ist die Überprüfung folgender Faktoren im Hinblick auf die Validität der Studie möglich, wie der Testeinfluss ohne Unterricht („Pretest-Effekt“), die Bedeutung eventueller Reifungsvorgänge oder eventueller äußerer Einflüsse (vgl. Bortz & Döring, 1995; Hofstein & Lunetta, 1982).

Tabelle 1. Untersuchungsdesign der Intervention und zeitliche Abfolge der Tests

Gruppen	Interventions- Gruppe 1 (I-1)	Interventions- Gruppe 2 (I-2)	Externe Kontrollgruppe (K)
Vortest (T-1) (Schülervorstellungen, Wissen, Interesse an der Gentechnik; eine Woche vor dem Unterricht)			
60 min	„Prelab-Phase“	„Prelab-Phase“	--
300 min	Experimenteller Laborunterricht (ohne Konfrontation mit Schülervorstellungen)	Experimenteller Laborunterricht (mit Konfrontation mit Schülervorstellungen)	--
Nachtest (T-2) (Schülervorstellungen, Wissen, Interesse an der Gentechnik, kognitive Belastung, situationsbezogene Emotionen; unmittelbar nach dem Unterricht)			
Behaltenstest (T-3) (Schülervorstellungen, Wissen, Interesse an der Gentechnik; sechs Wochen nach dem Nachtest)			

Im Folgenden sollen kurz die Inhalte sowie der Ablauf eines Praktikumstages für die Realschüler im Demonstrationslabor Bio-/ Gentechnik vorgestellt werden: Bei allen Experimenten mussten die Schüler mit ihnen bisher nicht bekannten Geräten umgehen, wie z.B. mit Mikropipetten. Aus diesem Grund war eine „Prelab-Phase“ notwendig, um anschließend in der eigentlichen Unterrichtsphase sicher experimentieren zu können (Dunn & Boud, 1986; Hodson, 1998; Lunetta, 1998). Diese experimentelle Einführung umfasste das Vorstellen und selbsttätige Bedienen aller Geräte am Schülerarbeitsplatz. Die Gewöhnung an die neuen Geräte wurde mit Demonstrationen des Kursleiters verknüpft sowie mit mündlichen und schriftlichen Anleitungen unterstützt. Die Schüler übten in Dreier- oder Vierergruppen das Pipettieren mit Farbstofflösungen sowie das Ausplattieren. Außerdem gossen sie Nährböden für die folgenden Schülergruppen. Als Zeitraum wurde für die „Prelab-Phase“ 60 Minuten angesetzt. Es folgte der eigentliche Experimentalunterricht, in dem vier Experimente in der vorgegebenen Zeit von 300 Minuten durchgeführt wurden, unterbrochen von einer Mittagspause und zwei kleinen Pausen. Die Experimentieranleitungen entstammten dem Handbuch „Blue Genes“ (Roche Diagnostics GmbH, 2003, S. 22-73) und wurden an die Unterrichtsinhalte angepasst (siehe Anhang). Die notwendigen Vektoren, Gene, Bakterienstämme sowie Enzyme wurden dem „Blue Genes“-Reagenzienset (Fa. Roche Diagnostics GmbH) entnommen. Die vier durchgeführten Experimente sollen an dieser Stelle kurz dargestellt werden:

1. Schneiden des Plasmids *pUCD* (Jopp-Heins, pers. Mitteilung) mit den Restriktionsenzymen *Bam*HI und *Hind*III: Im ersten Experiment schneiden die Schüler das Plasmid *pUCD* mit den Restriktionsenzymen *Bam*HI und *Hind*III an spezifischen Erkennungsregionen des Plasmids unter Bildung von „sticky ends“.

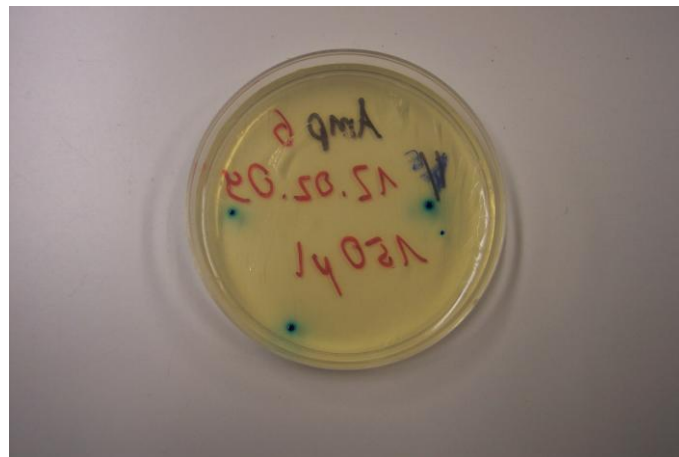
2. Ligation des *lacZ*-Gens (Kalnins, Otto, Rütter & Müller-Hill, 1983) mit dem linearisierten Plasmid *pUCD*: Anschließend verbinden sie das im „Blue Genes“-Reagenzienset enthaltenen *lacZ*-Gen, das für das Enzym β -Galaktosidase codiert, mit dem im ersten Versuch aufgeschnittenen Plasmid *pUCD*. Aufgrund der im Vergleich zur Originalanleitung im „Blue Genes“ Handbuch deutlich verlängerten Inkubationszeit von ursprünglich fünf Minuten auf über Nacht, müssen die Schüler im nächsten Versuch mit den Ligationsansätzen des Vorkurses arbeiten.

3. Transformation von *E. coli* K-12 (JM109) (Yanisch-Perron, Vieira & Messing, 1985) mit dem rekombinanten Plasmid *pUCD-lacZ*: Im dritten Experiment übertragen die Schüler das gesamte *lacZ*-Gen mit Hilfe des Plasmids *pUCD* in Bakterien des Sicherheitsstammes *E. coli* K-12 (JM109). Letztere enthalten ein nicht intaktes *lacZ*-Gen

(*lacZ*-Mutante). Die Schüler stellen zunächst kompetente Zellen über eine vereinfachte Calciumchlorid-Methode (Mandel & Higa, 1970) her, transformieren dann die rekombinante DNA über einen kurzfristigen Hitzeschock.

4. Ausplattieren der Bakterien: Anschließend plattieren sie die transformierten *E. coli* K-12-Bakterien auf selektiven Agarplatten aus, welche vom Vorkurs gegossen wurden (siehe „Pre-lab-Phase“). Ein Nachteil dieses Versuchs ist, dass die Schüler bedingt durch die notwendige Zeit für das Wachstum der Transformanten nicht am gleichen Tag ihr eigenes Versuchsergebnis sehen können. Sie müssen daher auf die Agarplatten des jeweiligen Vorkurses zurückgreifen. Somit kann das Ergebnis an sich von den Schülern erfasst und ausgewertet werden. Die Identifikation der rekombinanten Transformanten erfolgt über das sogenannte „Blau-Weiß-Screening“. Diese Methode beruht auf der Fähigkeit von β -Galaktosidase (siehe oben), das farblose Substrat X-Gal im Nährboden in 5-Brom-4-chlor-indoxyl umzuwandeln, welches an der Luft zum schwerlöslichen 5,5'-Dibrom-4,4'-dichlorindigo oxidiert wird (Roche Diagnostics GmbH, 2003). Die rekombinanten Transformanten lassen sich als blaue Kolonien auf dem Nährboden erkennen (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1. Fotografie eines Nährbodens mit blauen Bakterienkolonien eines erfolgreichen Schülerexperimentes



Alle Experimente wurden nach dem gleichen zweistufigen Ablaufschema durchgeführt, welches typisch für einen handlungsorientierten Unterricht ist (z.B. Dunn & Boud, 1986): Nach einer allgemeinen Vorbesprechung durch den Lehrer (Theorie-Phase), konnten sich die Schüler zunächst noch innerhalb ihrer Gruppe über theoretische und praktische Aspekte des folgenden Experimentes austauschen. Anschließend erfolgte die eigentliche selbstständige Durchführung des Experimentes durch die Schülergruppen

(Experimentier-Phase). Am Ende des Praktikums stand eine Auswertungs-Phase, in der die Schüler ihre Ergebnisse mit Hilfe ihres neu erworbenen Wissens interpretiert haben. Bezieht man die Prelab-Phase mit ein, so lässt sich der gesamte Unterricht in zehn Phasen unterteilen (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2. Charakterisierung der einzelnen Phasen des Unterrichtes im Demonstrationslabor

Phasen- nummer	Name der Phase	Beschreibung der Phase
1	Prelab-Phase	Vorstellen der Materialien und Geräte am Arbeitsplatz; Einführung in die grundlegenden Arbeitstechniken
2	1. Theorie-Phase	Die Bedeutung der Gentechnik wird exemplarisch an der bakteriellen Produktion von Insulin aufgezeigt; Vorbesprechung des folgenden Experimentes
3	1. Experimentier-Phase	Schneiden des Plasmids <i>pUCD</i>
4	2. Theorie-Phase	Weitere Beispiele für den Einsatz der Gentechnik im medizinischen Bereich werden vorgestellt; eine Diskussion über ethische Aspekte der Gentechnik schließt sich an; Vorbesprechung des folgenden Experimentes
5	2. Experimentier-Phase	Ligation des <i>lacZ</i> -Gens
6	3. Theorie-Phase	Vorbesprechung des folgenden Experimentes
7	3. Experimentier-Phase	Transformation von <i>E. coli</i> K-12 (JM109)
8	4. Theorie-Phase	Vorbesprechung des folgenden Experimentes
9	4. Experimentier-Phase	Ausplattieren der Bakterien
10	Auswertungs-Phase	Die erhaltenen Ergebnisse werden von den Schülern mit Hilfe ihres neu erworbenen Wissens interpretiert; abschließend erfolgt eine Zusammenfassung des gesamten Praktikumstages

Im Zusammenhang mit dem beschriebenen Unterricht im Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik wurden drei Studien (B, C, D) durchgeführt. Eine weitere Studie (Studie A) wurde allerdings unabhängig vom eigentlichen Unterricht etwa sechs Monate zuvor

durchgeführt (siehe 7.1.). Hierbei wurden zunächst Schülervorstellungen zu zentralen Begriffen und Vorgängen der Gentechnik bei insgesamt 144 Schülern der 10. Klassen einer nordbayerischen Realschule erfasst. Das Erhebungsinstrument dazu war ein offener Fragebogen mit acht Items (siehe Anhang 8.4.1.). Die von den Schülern – nach Möglichkeit in kurzen, ganzen Sätzen- dargelegten Vorstellungen betrafen zum einen Begriffe der Gentechnik (fünf Items), zum anderen Vorgänge der Vererbung/Gentechnik (drei Items). Diese Erhebung wurde einmal durchgeführt und anschließend ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Studie bildeten die Grundlage für den erteilten Unterricht der Interventionsgruppe 2 im Demonstrationslabor.

In den Studien B, C und D (siehe 7.2.-7.4.) kam das oben beschriebene Untersuchungsdesign zum Einsatz, wobei die kognitive Belastung „online“ (z.B. van Gog & Paas, 2008) und die situationsbezogenen Emotionen nur im Nachtest erfasst wurden. Alle mehrfach durchgeführten Tests enthielten zu allen Testzeitpunkten jeweils dieselben Fragen, jedoch in einer unterschiedlichen Anordnung sowie mit veränderter Reihenfolge der Antwortmöglichkeiten. Der Vortest diente dazu das Vorwissen aller Gruppen zu bestimmen, mit dem Nachtest sollte der aktuelle Wissensstand nach der Unterrichtseinheit im Schülerlabor ermittelt werden. Sechs Wochen nach der Intervention wurde mit einem Behaltenstest die Langzeitwirkung des Laborunterrichtes überprüft. Für die statistische Auswertung wurden ausschließlich nicht-parametrische Tests eingesetzt, da die Summenwerte aller Variablen in den eingesetzten Tests keine Normalverteilung zeigten (siehe 7.2. - 7.4.).

Zur Erfassung der Schülervorstellungen bzw. der fachwissenschaftlichen Antworten wurde ein selbst entwickelter Multiple-Choice Fragebogen eingesetzt (siehe Anhang 8.4.3.). Er umfasste acht Fragen bezüglich derselben Begriffe und Vorgänge der Gentechnik wie auch in Studie A. Zu jeder Frage gab es vier mögliche Antworten, eine davon war jeweils die fachwissenschaftlich korrekte Antwort. Als Distraktoren wurden Schülervorstellungen verwendet, die in der ersten Studie ermittelt wurden. Damit sollte der Anteil der Schülervorstellungen bzw. der fachwissenschaftlichen Vorstellungen zu einzelnen Begriffen bzw. Vorgängen der Gentechnik zu verschiedenen Zeitpunkten erfasst werden.

Der Wissenstest beinhaltete 18 Multiple-Choice Fragen (siehe Anhang 8.4.4.), die jeweils die Feinziele der Unterrichtseinheit abdeckten (siehe Anhang 8.2.).

Die geistige Anstrengung („mental effort“, Maß für die kognitive Belastung) wurde zu zehn Testzeitpunkten während des Gentechnik-Unterrichtes gemessen. Diese Messungen erfolgten jeweils im Anschluss an eine der zehn Phasen des gesamten Praktikums (siehe

Tabelle 2). Die Schüler schätzten ihre geistige Anstrengung nach jeder Unterrichtsphase selbst ein und trugen sie als Wert in eine 9er-Skala ein (Paas, Merriënboer & Adam, 1994; 1 = sehr, sehr gering bis 9 = sehr, sehr hoch; siehe Anhang 8.4.5.). Dabei entsprach der mittlere Wert 5 der normalen Anstrengung im schulischen Biologieunterricht.

Die instruktionale Effizienz (E) wurde aus den erhaltenen Ergebnissen des Wissenstests (Nachtest und Behaltenstest) und den Werten der geistigen Anstrengung (für alle Testzeitpunkte) nach der Formel $E = (z_{\text{performance}} - z_{\text{mental effort}})/\sqrt{2}$ berechnet (Paas & Merriënboer, 1993).

Die Erfassung der situationsbezogenen Emotionen erfolgte bei beiden Interventionsgruppen direkt im Anschluss an den Experimentalunterricht. Dazu wurde ein 13 Item umfassender Fragebogen eingesetzt, der vier Faktoren situationsbezogener Unterrichtsempfindungen erfasst (Laukenmann & v. Rhöneck, 2003): Interesse, Wohlbefinden, Angst und Langeweile (siehe Anhang 8.4.6.). Jede Schülerantwort konnte dabei in eine fünfstufige Likert-Skala eingetragen werden (1 = sehr gering ... 5 = sehr groß). Bei der späteren Auswertung der Fragebögen wurde die situationsbezogene Langeweile jedoch nicht mehr berücksichtigt, da sie nur durch ein einziges Item erfragt wurde.

Das Interesse der Schüler am Thema Gentechnik wurde mit einer, auf der Basis von Häussler (1987) und Hoffmann (2002) adaptierten, 11 Items umfassenden Skala gemessen (siehe Anhang 8.4.7.). Der Test bezog sich dabei auf alle im Unterricht behandelten Lerninhalte. Auch in diesen Fragebogen trugen die Schüler ihre Empfindungen in eine fünfstufige Likert-Skala ein (1 = sehr gering ... 5 = sehr groß).

Im folgenden Abschnitt sollen die Ziele und Fragestellungen im Einzelnen kurz dargestellt werden, um eine abschließende Diskussion in Kapitel 3.2. zu ermöglichen:

Ziele und Fragestellungen der ersten Studie (Studie A)

„Will man Vorstellungen verändern, setzt dies voraus, dass überhaupt Vorstellungen vorhanden sind.“ (Krüger, 2007, S. 83). Diese Aussage stellt sozusagen die Grundlage für die Fragestellungen der ersten Studie dar. Um mit Schülervorstellungen im Unterricht zu arbeiten (z.B. zum Erzielen eines Konzeptwechsels), ist es notwendig, diese vorher zu erheben. Ihre direkte Erfassung im Unterricht stellt sich in der Praxis als schwierig dar, z.B. durch den hohen Zeitbedarf und zu große Klassenstärken. Aus diesem Grund wurden die Schülervorstellungen zu zentralen Begriffen und Vorgängen der Gentechnik außerhalb des Unterrichtes im Demonstrationslabor mithilfe eines Fragebogens (siehe Anhang 8.4.1.) separat erfasst und kategorisiert. Die Vorteile dieser Methode liegen darin, dass zum einen ein

breiteres Spektrum an Schülervorstellungen erfasst werden kann und zum anderen, dass die Auswertung in Ruhe außerhalb des Unterrichtes erfolgen kann und letzterer somit gezielt anhand der erhaltenen Ergebnisse vorbereitet werden kann. Die zentralen Fragestellungen der ersten Studie lauteten somit: (i) Welche Vorstellungen haben Schüler der 10. Klasse der nordbayerischen Realschulen zu zentralen Begriffen und Prozessen der Gentechnik? (ii) In welcher Häufigkeit treten sie auf? (iii) Treten bestimmte Kombinationen verschiedener Kategorien auf?

Ziele und Fragestellungen der zweiten Studie (Studie B)

Nach Erfassung der Schülervorstellungen (siehe Ziele und Fragestellungen der ersten Studie) konnten diese gezielt in den Unterricht einer Interventionsgruppe über grundlegende Arbeitsschritte der Gentechnik eingebaut werden. Die Schüler sollten durch die Konfrontation einen kognitiven Konflikt erfahren, der wiederum einen Konzeptwechsel bewirken sollte. Überprüft wurde der Erfolg dieser Unterrichtsmethode durch einen Fragebogen (siehe Anhang 8.4.3.), durch den die Anzahl an fachwissenschaftlichen Vorstellungen bzw. an Schülervorstellungen vor und nach dem Unterricht ermittelt wurde. Die zweite Studie sollte die Antworten auf folgende Fragen liefern: (i) Lässt sich ein Konzeptwechsel bei Schüler durch die Methode der Konfrontation erreichen? (ii) Werden eventuell angenommene fachwissenschaftliche Vorstellungen auch langfristig behalten? (iii) Zeigen sich dabei Unterschiede zwischen Schülerinnen und Schülern?

Ziele und Fragestellungen der dritten Studie (Studie C)

Ein weiterer Aspekt der Untersuchungen zum Unterricht im Lernort Labor sollte die Überprüfung des Lernerfolgs sowohl bei Berücksichtigung als auch bei Nichtberücksichtigung von Schülervorstellungen sein. Dies erfolgte auch, um die Aussage zu überprüfen, dass „man von einem einmaligen Laborbesuch kaum Effekte im kognitiven Bereich erwarten kann“ (Engeln & Euler, 2004, S. 46). Auf den Vergleich der Lernleistungen der Schüler dort mit ihren Lernleistungen in anderen Lernorten bzw. im nicht-experimentellen Unterricht wurde verzichtet, da hierzu bereits genügend Studien vorliegen (z.B. Scharfenberg, 2005; Sturm & Bogner, 2007). Da es sich bei der Gentechnik um eine relativ komplizierte Thematik handelt, die zudem noch an selbsttätiges Experimentieren gekoppelt war, wurde gleichzeitig auch die geistige Anstrengung der Schüler im Unterricht ermittelt. So sollte folgenden Fragen nachgegangen werden: (i) Führt ein Unterricht, bei dem die Schüler mit ihren Vorstellungen konfrontiert werden, zu besseren Lernerfolgen? (ii) Lässt sich dabei

gleichzeitig auch die geistige Anstrengung verändern? (iii) Zeigen sich in beiden Unterrichtsmethoden somit auch Unterschiede in der instruktionalen Effizienz?

Ziele und Fragestellungen der vierten Studie (Studie D)

Studien zum Konzeptwechsel wurden ursprünglich einseitig aus einer rein kognitiven Sichtweise durchgeführt. In der jüngsten Vergangenheit jedoch wurde die Bedeutung der emotionalen Komponente für diesen Lernprozess erkannt. In der vierten Studie sollten deshalb die situationsbezogenen Emotionen Interesse, Wohlbefinden und Angst im experimentellen Unterricht zum Thema Gentechnik erfasst werden. Dies sollte wiederum in Verbindung mit der Berücksichtigung von Schülervorstellungen im Unterricht erfolgen. Durch die Wahl des Lernortes Labor ist bei den Schülern mit einer insgesamt höheren Lernmotivation als im gewohnten Klassenzimmer zu rechnen (Scharfenberg, Bogner & Klautke, 2007). Die Fragestellungen lauten im Einzelnen: (i) Hat die für einen Konzeptwechsel notwendige Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen im Unterricht positive Auswirkungen auf das situationsbezogene Interesse, Wohlbefinden und die Angst der Schüler? (ii) Zeigen sich dabei geschlechtsspezifische Unterschiede? (iii) Spiegeln sich emotionale Unterschiede auch im Leistungsniveau der Schüler wieder? (iv) Gibt es eine Verbindung zwischen den situationsbezogenen Emotionen und dem epistemischen Interesse der Schüler am Thema Gentechnik?

Zusammenfassend lassen sich die Zielsetzungen der vorliegenden Arbeit folgendermaßen beschreiben: Die erste Studie stellt mit der Erfassung von Schülervorstellungen zu Begriffen und Prozessen der Gentechnik die für die Durchführung aller weiteren Studien notwendige Voraussetzung dar. Die drei letztgenannten Studien befassen sich mit der grundlegenden Frage, ob und wie sich die Berücksichtigung von Schülervorstellungen im experimentellen Unterricht im Demonstrationslabor Bio-/ Gentechnik auf die Schüler auswirkt, z.B. im Hinblick auf kognitive Leistungen oder Emotionen. Dabei wird auch überprüft, ob eine gleichzeitige Veränderung der ursprünglichen Vorstellungen möglich ist. Mögliche Einwirkungen des außerschulischen Lernortes Labor werden im Rahmen dieser Arbeit außer Acht gelassen. Es wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass in dieser Umgebung die Lernmotivation erwießenermaßen höher als im gewohnten Klassenzimmer ist (Scharfenberg, Klautke & Bogner, 2007).

Im Anschluss sollen nun die Ergebnisse der einzelnen Studien dargestellt werden und im Hinblick auf die oben aufgeworfenen Fragestellungen diskutiert werden.

3.2. Ergebnisse und Diskussion (Synopsis)

Das Zusammenführen der Ergebnisse aller Teilstudien erlaubt letztendlich, die Bedeutung einer Berücksichtigung von Schülervorstellungen im Hinblick auf den Unterrichtserfolg im Demonstrationslabor zu beurteilen und daraus weitere Empfehlungen für die zukünftige Unterrichtsgestaltung abzuleiten. Nach der Diskussion der Einzelstudien werden die wichtigsten Ergebnisse und die daraus resultierenden Konsequenzen in einer abschließenden Bewertung zusammengeführt und erörtert.

In der ersten Studie wurden Schülervorstellungen über Begriffe und Vorgänge der Gentechnik erfasst und ausgewertet. Dies wäre im eigentlichen Laborunterricht zeitlich nicht möglich gewesen. Diese Voruntersuchung bildete die Grundlage für die Durchführung des differenzierten Unterrichtes im Lernort Labor sowie die damit verbundenen weiteren drei Studien. Bei der Auswertung stellte sich heraus, dass die Schüler meist mindestens eine Vorstellung zu bestimmten Begriffen besaßen. Die Untersuchung war demzufolge notwendig, um Lernvoraussetzungen für den Unterricht zu bestimmen bzw. um einen Konzeptwechsel vorzubereiten. Es zeigte sich, dass sich die Vorstellungen bestimmten Kategorien zuordnen ließen. Schüler verwendeten dabei oft dieselben Kategorien, um verschiedene Begriffe und Prozesse zu erklären. Die sieben ermittelten Grundkategorien („common categories“) waren *Genotyp*, *Phänotyp*, *Vorgang*, *Stammbaum*, *Objekt*, *Wertung* und *Lokalisation*. *Genotyp* wurde v. a. zur Erklärung von „Gentechnik“ benutzt. *Phänotyp* diente v. a. zur Erklärung von „Klon“, „Vererbung von Eigenschaften“, aber auch von „Veränderung von Erbgut“. Bei Letzterem wurden verschiedene Ebenen zur Erklärung herangezogen. In einer Studie von Kattmann, Frerichs und Gluhedow (2005) bezeichneten Schüler „Gene als Merkmale“, d.h. sie verwendeten ebenfalls die Phänotyp-Ebene. Dies wurde in der vorliegenden Arbeit auch festgestellt, jedoch relativ selten (kleiner 20%). Lewis, Leach und Wood-Robinson (2000) stellten in ihrer Studie fest, dass auch bei der Erklärung von „Gen“ eine klare Unterscheidung zwischen Geno- und Phänotyp fehlte. Die Kategorie *Vorgang* wurde wie erwartet bei „Gentechnik“, „Vererbung von Eigenschaften“, „Übertragung von Erbgut“ und „Veränderung von Erbgut“ gebraucht, aber auch ein „Klon“ wurde auf einen Prozess bezogen. Die Grundkategorie *Stammbaum* wurde v. a. bei Prozessen gefunden, aber auch „Gen“ wurden mithilfe von Stammbäumen erklärt. „Gen“, „Klon“ und „Enzym“ wurden als *Objekte* angesehen. Diese Kategorie fiel aber auch in Zusammenhang mit der „Veränderung von Erbgut“. Lewis, Leach und Wood-Robinson (2000) fanden ebenfalls Schülervorstellungen aus

dieser Kategorie, z.B. mit der Schüleraussage „genes are small particles“. Die Kategorie *Wertung* wurde wie erwartet zur Erklärung von „Gentechnik“ und „Klon“ gebraucht. *Lokalisation* diente ausschließlich für die Lagebeschreibung von „Genen“ und „Enzymen“. Lewis, Leach und Wood-Robinson (2000) haben einen „lack of where genes might be found“ festgestellt. In der vorliegenden Arbeit wurde die Kategorie *Lokalisation* in Bezug auf „Gene“ immerhin von 20,1% der Schüler verwendet.

Einige Vorstellungskategorien waren nur bei einzelnen Begriffen anzutreffen („specific categories“), wie z.B. die Vorstellung von einem „Gen“ als *Container*. Dieses *Container*-Schema kannte man bisher nur aus anderen Themengebieten, wie z.B. die globale Erwärmung (Niebert, 2008). Die Grundkategorien reichten den Schülern in manchen Fällen nicht zur Erklärung von Begriffen aus, sie wurden im Bedarfsfall erweitert, z.B. „Enzyme“ wurden über ihre *Funktion* charakterisiert. Die Verwendung der speziellen Kategorien erfolgte jedoch nur gelegentlich (meist kleiner 30%).

Ließen sich die Schülervorstellungen nur einer einzelnen Kategorie zuordnen, so gab es eher selten nur eine am häufigsten verwendete Kategorie (z.B. „Übertragung von Erbgut“ wurde am häufigsten mithilfe der Kategorie *Vorgang* oder *Stammbaum* erklärt). Oft wurde jedoch mehr als nur eine Kategorie zur Erklärung der Vorstellungen benutzt. Möglicherweise geschah dies, weil die Thematik Gentechnik medial sehr präsent ist und die Schüler dadurch verstärkt Vorstellungen bildeten. Auch könnte es dadurch zu begründen sein, dass das Thema „Gentechnik“ fächerübergreifend bereits vorher behandelt wurde, z.B. im Ethik-Unterricht der 10. Jahrgangsstufe (Eth 10.2 Angewandte Ethik; Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, 2001), so dass die Schüler auf diese Weise angeregt wurden, Vorstellungen zu entwickeln. Weiterhin konnte auch festgestellt werden, dass die Schüler zur Erklärung von Begriffen oder Prozessen der Gentechnik oft Kategorien vermischten bzw. verknüpften. Im Unterricht ist daher eine klare Strukturierung/Abgrenzung der Erklärungen notwendig. So zeigte sich, dass sich z.B. viele Schüler, die sich der Grundkategorie *Genotyp* zur Erklärung des Begriffs „Gen“ bedienten, auch die spezielle Kategorie *Container* verwendeten. „Gentechnik“ wurde hauptsächlich als ein auf der Ebene des *Genotyps* ablaufender Prozess angesehen, z. T. auch noch in Verbindung mit *Wissenschaft*. Viele Schüler sahen einen „Klon“ als *Objekt* an, das in einem *Vorgang* entsteht. Dabei fiel ihnen die Zuordnung zur Geno- bzw. Phänotyp-Ebene nicht leicht, es kam auch zur Kombinationsbildung. Zum Begriff „Enzym“ hatten nur weniger als 50% der Schüler Vorstellungen, bzw. wenn sie welche hatten, zeigte sich ein sehr heterogenes Bild. Auf die genaue Erklärung dieses Begriffs ist im Unterricht daher genau zu achten, da Enzyme ja die

Grundlage für gentechnisches Arbeiten darstellen. Der Vorgang „Vererbung von Eigenschaften“ wurde meist auf *Phänotyp*-Ebene erklärt. Sehr oft wurde dabei gleichzeitig von den Schülern ein Bezug zum *Stammbaum* hergestellt. Die *Phänotyp*-Ebene diente auch der Erklärung der „Übertragung von Erbgut“. Die Schüler hatten ihre Vorstellungen zu diesem Prozess erneut mit *Stammbaum* verknüpft.

In der zweiten Studie wurde erfolgreich versucht, Schülervorstellungen über Begriffe und Vorgänge der Gentechnik zugunsten der fachwissenschaftlichen Vorstellung zu verändern. Damit ging die Studie konform mit anderen, die ebenso einen signifikant stärkeren Konzeptwechsel in den Versuchsgruppen zeigten (z.B. Guzetti, Snyder, Glass & Gamas, 1992; Kalman, Morris, Cottin & Gordon, 1999), wenn auch die Thematik und Methodik der Intervention unterschiedlich waren. Der außerschulische Lernort Labor hatte auf die teilnehmenden Schüler einen positiven Effekt dahingegen, dass sie zumindest kurzfristig einige ihre Schülervorstellungen durch die fachlichen Vorstellungen ersetzten. Wurden die Schüler im Unterricht zusätzlich noch mit ihren eigenen Vorstellungen konfrontiert und zu einer sachlichen Auseinandersetzung mit diesen angeregt, war der Effekt nicht nur ausgeprägter, sondern auch langfristig zu beobachten.

Interessant in diesem Zusammenhang waren auch die deutlichen geschlechtsspezifischen Unterschiede: (1) Schüler der Konfrontationsgruppe zeigten sowohl im Nach- als auch Behaltenstest eine signifikant höhere Annahme von fachwissenschaftlichen Vorstellungen als die Gruppe ohne Behandlung der Schülervorstellungen. Langfristig blieben die alten Vorstellungen jedoch auch bei dieser Gruppe erhalten. Die Kernaussage vieler Interventionsstudien, dass „change does not come easily, there are resistences against change to science conceptions“ (Duit, 1999), wurde hier bestätigt. Vosniadou und Brewer (1992) bezeichneten solche tief verwurzelten Vorstellungen als „entrenched“. Eine Rolle könnte hierbei z.B. ein ungenügend vorhandenes Vorwissen gespielt haben (z.B. Chinn & Brewer, 1993; Strike & Posner, 1985). Aus diesem Grund konnten die Schüler einige fachwissenschaftliche Ansichten gar nicht verstehen. Möglicherweise mag der Verzicht auf die letzte Phase der „constructivist teaching sequence“ (Driver, 1989), dem „Review of change in ideas“, eine Rolle für den fehlenden langfristigen Erfolg gespielt haben. (2) Schülerinnen zeigten sowohl kurz- als auch langfristig eine erfolgreiche Übernahme der fachwissenschaftlichen Vorstellungen, allerdings spielte es für sie kaum eine Rolle, ob man im Unterricht auf ihre bisherigen Vorstellungen eingegangen ist oder nicht. Schülerinnen zeigten sich im Unterricht im Schülerlabor den naturwissenschaftlichen Vorstellungen

insgesamt aufgeschlossener. Entweder waren sie bereiter diese aufzunehmen, oder die alten Vorstellungen waren nicht so tief verwurzelt, wie bei den Schülern. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich in einer Longitudinalstudie von Pearsall, Skipper und Mintzes (1997) über Konzeptwechsel bei nordamerikanischen Studentinnen und Studenten der Biologie. Dort konnten Studentinnen meist bessere Ergebnisse im „concept mapping“ aufweisen als die Studenten. Eine mögliche Erklärung dafür liefern Novak und Govin (1984), die einen geschlechtsspezifischen Unterschied in der Entwicklung von Lernstrategien als Ergebnis der Sozialisation sehen. Schülerinnen sind demnach „more acquiescent, and accept the primarily rote learning characteristic of much school learning“ (Novak & Govin, 1984).

In der dritten Studie konnte gezeigt werden, dass sich der Unterricht im Schülerlabor auch positiv auf den Wissenserwerb auswirkte. Dabei erwies sich das Ansprechen von Schülervorstellungen kurzfristig als besonders wirksam, in dieser Gruppe (I-2) waren die Lernleistungen signifikant höher als in der Gruppe ohne Behandlung von Schülervorstellungen (I-1). Eine mögliche Erklärung dafür könnte eine veränderte Lernmotivation bei diesen Schülern sein, wenn eine Auseinandersetzung im Unterricht mit ihren eigenen Vorstellungen erfolgt. Dies wirkte sich wiederum positiv auf die Lernleistungen aus. Der generell hohe Wissensverlust im Behaltensverlust nach sechs Wochen lässt sich am besten mit der hohen unterrichtsbezogenen kognitiven Belastung der Schüler in der Experimentalsituation erklären (Scharfenberg, Bogner & Klautke, 2007). Diese führte bei einigen Schülern bereits zur Auslastung des Arbeitsgedächtnisses, so dass für die lernbezogene kognitive Belastung nicht mehr genug Kapazität zur Verfügung gestellt werden konnte.

Betrachtet man die geistige Anstrengung, so war in der Auswertungs-Phase ein signifikanter Unterschied zu erkennen. Die Gruppe, deren Vorstellungen im Unterricht nicht explizit angesprochen wurden, zeigte eine höhere Belastung. Das Ansprechen von Schülervorstellungen alleine hat also bereits zu einer Verringerung der kognitiven Belastung geführt, was sich letztlich dann auch in den besseren Leistungen im Wissenstest widerspiegelt hat. Wie bereits erwähnt, war bei beiden Gruppen von einer hohen inhaltsbezogenen kognitiven Belastung bedingt durch die Inhaltsdichte auszugehen. Die experimentellen Aufgaben führten zusätzlich zu einer Erhöhung der unterrichtsbezogenen kognitiven Belastung. Durch den Konfrontationsunterricht kam es wahrscheinlich zunächst auch noch zu einer kurzfristigen Erhöhung der inhaltsbezogenen kognitiven Belastung. Wurde die neue Information jedoch mit den bereits existierenden Vorstellungen verknüpft,

schien sich die inhaltsbezogene kognitive Belastung deutlich zu verringern. Dies machte sich dann in der letzten Phase des Unterrichtes bemerkbar. Im Bezug auf die instruktionale Effizienz wird das Bild noch deutlicher: Hier ließ sich neben einer kurzfristig höheren Effizienz in der Experimental- und Auswertungs-Phase in letzterer auch eine langfristig höhere Effizienz für die Gruppe zeigen, deren Schülervorstellungen im Unterricht zusätzlich angesprochen wurden: Sie zeigte entweder gleiche Leistungen im Wissenstest bei geringerer Anstrengung oder sogar bessere bei gleicher Anstrengung.

In der vierten Studie wurden die situationsbezogenen Emotionen der Schüler im außerschulischen Lernort Labor untersucht. Dabei zeigten die Mehrzahl der Schüler ein hohes Interesse und Wohlbefinden beim experimentellen Arbeiten. Angst wurde nahezu nicht verspürt, was vermutlich auf den reduzierten Leistungsdruck außerhalb des gewohnten Schulunterrichtes zurückzuführen ist. Schüler, die sich wohl fühlten, wiesen ein hohes situationsbezogenes Interesse am Unterricht auf. Es zeigte sich erneut, dass sich das Eingehen auf die Vorstellungen der Schüler positiv auswirkte: Ihr Interesse und Wohlbefinden wurde signifikant erhöht. Die Erfassung und Einbeziehung von Schülervorstellungen in den Unterricht, die von Didaktikern immer wieder gefordert wurde (z.B. Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek, 1997), schien sich zumindest sehr positiv auf die Emotionen Interesse und Wohlbefinden auszuwirken. Die negative Emotion Angst schien von der Berücksichtigung der Schülervorstellungen unabhängig zu sein.

Vergleicht man beide Geschlechter hinsichtlich ihrer Emotionswerte, so zeigten sich nur im Wohlbefinden signifikante Unterschiede. Schüler fühlten sich im Unterricht stets wohler als die Schülerinnen, unabhängig davon, welcher Experimentalgruppe sie angehörten. Ein ebenso höheres Wohlbefinden bei Schülern konnten Gläser-Zikuda und Fuß (2004) im Physik-Unterricht der achten Jahrgangsstufe an verschiedenen Schulen in Baden-Württemberg feststellen. In der vorliegenden Arbeit erwies sich außerdem das Wohlbefinden der Schüler in I-2 als signifikant größer als in I-1. Dies beeinflusste auch die Leistungen im abschließenden Wissenstest, der bei diesen auch deutlich besser ausfiel (vgl. Studie C). Man kann zusammenfassen, dass sich der außerschulische Lernort in Verbindung mit der Thematik Gentechnik insgesamt förderlich auf die positiven Emotionen der Schüler auswirkte, wobei sich das Wohlbefinden bei Einbezugnahme von Schülervorstellungen nochmals erhöhte. Schülerinnen blieben davon unbeeindruckt. Ähnliches war auch im Bezug auf den Konzeptwechsel feststellbar (siehe Studie B).

Die quantitative Analyse zeigte einen deutlichen Einfluss von situationsbezogenem Interesse und Wohlbefinden auf den Lernerfolg. Schülerinnen und Schüler, die sich im angebotenen Experimentalunterricht wohl fühlten und mit Interesse mitwirken, zeigten deutlich bessere Ergebnisse im abschließenden Leistungstest. Diese positiven Korrelationen wurden auch in anderen Studien bestätigt (Gläser-Zikuda, 2001; Gläser-Zikuda & Mayring, 2003; Laukenmann & v. Rhöneck, 2003). Leider war aufgrund der unterschiedlichen Erfassungs- und Auswertungstechnik kein direkter Vergleich dahingehend möglich, ob der außerschulische Lernort Labor dabei eine auf den Lernerfolg noch verstärkende Wirkung ausübte. Allerdings stellte sich heraus, dass keine signifikanten Korrelationen zwischen der Stärke des Interesses und des Wohlbefindens im Unterricht und den bisherigen Leistungen im Fach Biologie in der Schule bestanden, wie dies in manchen Untersuchungen berichtet wurde (z.B. Löwe, 1992; Schiefele & Csikszentmihalyi, 1993).

Weiterhin war zu beobachten, dass Schüler, die bereits ein hohes epistemisches Interesse an der Thematik in den Unterricht mitgebracht haben (hier: Gentechnik), ebenso ein hohes situationsbezogenes Interesse und Wohlbefinden im Unterricht selbst zeigten. Auch eine Langzeitwirkung war hier feststellbar. Schüler, die den Experimentalunterricht mit positiven Emotionen verbunden haben, zeigten auch langfristig ein hohes Interesse an der Thematik Gentechnik. Dies spricht dafür, dass sich möglicherweise aus dem situationsbezogenen Interesse ein individuelles Interesse der Schüler an der Thematik entwickelt hat.

Abschließende Bewertung

Die Ergebnisse der letzten drei Studien haben gezeigt, dass sich die Behandlung von Schülervorstellungen im Unterricht in vielerlei Hinsicht positiv auf die Lernenden auswirkte: Beispielsweise waren die Schülerinnen und Schüler dieser Gruppe interessierter und fühlten sich wohler. Auch zeigten sie signifikant bessere Ergebnisse im anschließenden Wissenstest. Weiterhin ist es auf diese Weise gelungen, einen Konzeptwechsel zugunsten der fachwissenschaftlichen Vorstellungen zu erzielen. Hervorzuheben war die besondere Wirkung der Konfrontationsmethode auf die Schüler, die sich durch die Berücksichtigung ihrer Vorstellungen - im Gegensatz zu Schülerinnen - verstärkt angesprochen fühlten. Um diesen Effekt auch langfristig zu erzielen, müsste der Konfrontationsunterricht jedoch wiederholt werden. Eine Möglichkeit hierfür wäre die Anordnung von Unterrichtsstoff nach dem Spiralcurriculum (Bruner, 1960), wonach einzelne Themen in verschiedenen Klassenstufen bei gleichzeitig zunehmendem Niveau unterrichtet werden. Auf diese Weise könnte die

geforderte Wiederholung erreicht werden, die jeweils mit einer Besprechung der altersgemäßen Schülervorstellung verknüpft sein müsste. Dafür sind die Schulen aufgrund der relativ unflexiblen Lehrpläne mit ihrer Stofffülle noch nicht eingerichtet. Eine weitere Voraussetzung für so ein Vorhaben ist eine ausgedehnte quantitative Erfassung von Schülervorstellungen, um in möglichst vielen Unterrichtsinhalten auf diese zurückgreifen zu können. Die Ergebnisse der ersten Studie haben gezeigt, dass die Anzahl der Kategorien überschaubar gering ist, die die Schüler zur Beschreibung ihrer Vorstellungen benutzten, zumal sie immer wieder die gleichen Kategorien verwendeten. Dies erleichtert natürlich die Unterrichtsvorbereitung für den Lehrer, wenn er sich nur auf einige wenige zu erwartende Vorstellungskategorien konzentrieren muss. Dies gilt zumindest für die im Rahmen dieser Arbeit behandelte Thematik.

Die erhaltenen Untersuchungsergebnisse lieferten auch weitere Argumente für den Besuch des außerschulischen Lernortes Labor durch Lehrer mit ihren Klassen. Neben den bereits in der Einleitung erwähnten Vorteilen, wie das Sammeln authentischer und praktischer Lernerfahrung durch das experimentelle Arbeiten in der neuen Lernumgebung, ließ sich nachweislich auch ein Wissenszuwachs erzielen. Weiterhin steigerte der Unterricht im Demonstrationslabor nachhaltig das Interesse am Unterrichtsthema. Dies alles erlaubt den Schülern zukünftig möglicherweise ein besseres Verständnis für die Gentechnik im Alltag.

Zusammenfassend lassen sich aus der vorliegenden Arbeit folgende Schlüsse für den regulären Schulunterricht ziehen: Wird eine positive, angstfreie Lernatmosphäre im Unterricht geschaffen, in der sich die Schüler wohl fühlen, führt dies meist zu einer Verbesserung der Schulleistungen. Spricht man zusätzlich Schülervorstellungen im Unterricht an, verstärkt dies die positive Wirkung auf die situationsbezogenen Emotionen und die Lernleistungen der Schüler sogar noch weiter.

4. Literaturverzeichnis der Ausführlichen Zusammenfassung

- Alparslan, C., Tekkaya, C., & Geban, O. (2003). Using the conceptual change instruction to improve learning. *Journal of Biological Education*, 37, 133-137.
- Anderson, J. R. (1980). *Cognitive psychology and its implications*. San Francisco: Freeman.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 89–195). New York: Academic Press.
- Ausubel, D. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556-559.
- Baumert, J., & Köller, O. (2000). Unterrichtsgestaltung, verständnisvolles Lernen und multiple Zielerreichung im Mathematik- und Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. In J. Baumert, W. Bos, & R. Lehmann (Eds.), *TIMSS/III Dritte internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie – Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn, Bd. 2: Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe* (pp. 271-315). Opladen: Leske+Budrich.
- Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus (2001). *Lehrplan für die sechsstufige Realschule, Fachlehrpläne Biologie*. München: Verlag J. Maiß.
- Bohl, T. (2001). Wie verbreitet sind offene Unterrichtsmethoden? *Pädagogische Rundschau*, 55, 217-287.
- Born, B. (2007). *Lernen mit Alltagsphantasien*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Bortz, J., & Döring, N. (2001). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin: Springer.
- Brown, A. L., Collins, A. & Deguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18, 32-42.
- Bruner, J. S. (1960). *The process of education*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Caravita, S., & Halldén, O. (1994). Re-framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 89-111.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.

- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research, 63*, 1-49.
- Driver, R. (1989). Changing conceptions. In P. Adey, J. Bliss, J. Head, & M. Shayer (Eds.), *Adolescent development and school science* (pp. 79-104). New York: The Falmer Press.
- Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 263-282). Amsterdam: Pergamon.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education, 25*, 671-688.
- Duncan, R. G., & Reiser, B. J. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: Students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching, 44*, 938-959.
- Dunn, J., & Boud, D. (1986). Sequencing and organization. In D. Boud, J. Dunn & E. Hegarty-Hazel (Eds.), *Teaching in laboratories*. Exeter, UK: NFER- Nelson.
- Eggemeier, F. T. (1988). Properties of workload assessment techniques. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human and mental workload* (p. 41-62). Amsterdam: Elsevier.
- Engeln, K., & Euler, M. (2004). Forschen statt Pauken. Aktives Lernen im Schülerlabor. *Physik Journal, 3*, 45-48.
- Euler, M. (2001). Lernen durch Experimentieren. In U. Ringelband, M. Prenzel, & M. Euler (Eds.), *Lernort Labor – Initiativen zur naturwissenschaftlichen Bildung zwischen Schule, Forschung u. Wirtschaft* (pp. 13-42). Kiel: IPN.
- Finke, E. (1998). *Interesse an Humanbiologie und Umweltschutz in der Sekundarstufe I. Empirische Untersuchung zu altersbezogenen Veränderungen und Anregungsfaktoren*. Hamburg: Dr. Kovac.
- Fuß, S., & Gläser-Zikuda, M. (2003). Emotionen und Lernleistungen in den Fächern Deutsch und Physik. *Lehren und Lernen, 4*, 5-11.
- Gebhard, U. (1999). Alltagsmythen und Metaphern: Phantasien von Jugendlichen zur Gentechnik. In M. Schallies & U. Hafner (Eds.), *Biotechnologie und Gentechnik. Neue Technologien verstehen und beurteilen* (pp. 99-116). Berlin: Springer.
- Gebhard, U. (2007). Intuitive Vorstellungen bei Denk- und Lernprozessen: Der Ansatz „Alltagsphantasien“. In D. Krüger & H. Vogt (Eds.), *Handbuch der Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (pp. 117-128). Berlin: Springer.

- Gläser-Zikuda, M. (2001). *Emotionen und Lernstrategien in der Schule*. Weinheim: Beltz Verlag.
- Gläser-Zikuda, M., & Fuß, S. (2004). Wohlbefinden von Schülerinnen und Schülern im Unterricht. In T. Hascher (Ed.), *Schule positiv erleben. Ergebnisse und Erkenntnisse zum Wohlbefinden von Schülerinnen und Schülern* (pp. 27-48). Bern, Suisse: Haupt.
- Gläser-Zikuda, M., Fuß, S., Laukenmann, M., Metz, K., & Randler, C. (2005). Promoting students' emotions and achievement – Instructional design and evaluation of the ECOLE-approach. *Learning and Instruction, 15*, 481-495.
- Gläser-Zikuda, M., & Mayring, P. (2003). A qualitative oriented approach to learning emotions at school. In P. Mayring, & C. von Rhoeneck (Eds.), *Learning emotions* (pp. 103-126). Frankfurt: Peter Lang.
- Glowinski, I. (2007). *Schülerlabore im Bereich Molekularbiologie als Interesse fördernde Lernumgebungen*. Doktorarbeit, Universität Kiel.
- Guzetti, B. J., Snyder, T. E., Glass, G. V., & Gamas, W. S. (1993). Promoting conceptual change in science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education. *Reading Research Quarterly, 28*, 116-159.
- Häussler, P. (1987). Measuring students' interest in physics – design and results of a cross-sectional study in the Federal Republic of Germany. *International Journal of Science Education, 9*, 79-92.
- Harlen, W. (1999). *Effective teaching of science. A review of research*. Edinburgh: The Scottish Council for Research in Education.
- Hembree, R. (1988). Correlates, causes, effects, and treatment of test anxiety. *Review of Educational Research, 58*, 47-77.
- Hewson, M. G. (1988). The ecological context of knowledge: Implications for learning science in developing countries. *Journal of Curriculum Studies, 20*, 317–326.
- Hidi, S., & Renninger, A. K. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational Psychologist, 41*, 111-127.
- Hilbing, C., & Barke, H.-D. (2004). Ionen und Ionenbindung: Fehlvorstellungen hausgemacht! Ergebnisse empirischer Erhebungen und unterrichtliche Konsequenzen. *CHEMKON, 11*, 115-120.
- Hillebrandt, D., & Dähnhardt, D. (2005). Forschend lernen – Schülerlabore in Deutschland. *TheoPrax, 1*, 20-23.
- Hodson, D. (1998). *Teaching and learning science. Towards a personalized approach*. Buckingham, PA: Open University Press.

- Hoffmann, L. (2002). Promoting girls' interest and achievement in physics classes for beginners. *Learning and Instruction*, 12, 447-465.
- Hoffmann, L., & Lehrke, M. (1986). Eine Untersuchung über Schülerinteresse an Physik und Technik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 32, 189-204.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*, 88, 28-54.
- Izard, C. E. (1994). *Die Emotionen des Menschen: eine Einführung in die Grundlagen der Emotionspsychologie*. Weinheim: Beltz.
- Jensen, M. S., & Finley F. N. (1995). Teaching evolution using historical arguments in a conceptual change strategy. *Science Education*, 79, 147-166.
- Johnstone, A. H., & Wham, A. J. B. (1982). The demands of practical work. *Education in Chemistry*, 19, 71-73.
- Kagan, D., & Fasan, V. (1988). Stress and the environment. *College Teaching*, 36, 75-80.
- Kalman, C. S., Morris, S., Cottin, C., & Gordon, R. (1999). Promoting conceptual change using collaborative groups in quantitative gateway courses. *American Journal of Physics: Physics Educational Research Supplement*, 67, 45-51.
- Kalnins, A., Otto, K., Rüter, U., & Müller-Hill, B. (1983). Sequence of the lacZ gene of *Escherichia coli*. *EMBO Journal*, 2, 593-597.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1998). Levels of expertise and instructional design. *Human Factors*, 40, 1-17.
- Kattmann, U., Duit, R., & Gropengießer, H. (1998). Educational Reconstruction – Bringing together issues of scientific clarification and students' conceptions. In H. Bayrhuber & F. Brinkman (Eds.), *What - Why - How? Research in Didaktik of Biology* (pp. 253-262). Kiel: IPN.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3, 3-18.
- Kattmann, U., Frerichs V., & Gluhodow, M. (2005). Gene sind charakterlos. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 58, 324-330.
- Killermann, W., Hierung, P., & Starosta, B. (2005). *Biologieunterricht heute*. Donauwörth: Auer Verlag GmbH.
- Krapp, A. (2002). Structural and dynamic aspects of interest development: theoretical considerations from an ontogenetic perspective. *Learning and Instruction*, 12, 383-409.

- Krüger, D. (2007). Die Conceptual Change-Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Eds.), *Handbuch der Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (pp. 81-92). Berlin: Springer.
- Laukenmann, M., Bleicher, M., Fuß, S., Gläser-Zikuda, M., Mayring, P., & von Rhöneck, C. (2003). An investigation of the influence of emotional factors on learning in physics instruction. *International Journal of Science Education*, 25, 489-507.
- Laukenmann, M., & von Rhoeneck, C. (2003). The influence of emotional factors on learning in physics instruction. In P. Mayring, & C. von Rhoeneck (Eds.), *Learning emotions* (pp. 67-80). Frankfurt: Peter Lang.
- Laux, L., Glanzmann, P., Schaffer, P. & Spielberger, C. D. (1981). *Das State-Trait-Angstinventar. Theoretische Grundlagen und Handlungsanweisungen*. Weinheim: Beltz.
- Lefrancois, G. R. (1992). *Psychology for teaching*. Belmont, CA: Wadsworth.
- Lewis, J., & Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26, 195-206.
- Lewis, J. M., Leach, J. T., & Wood-Robinson, C. (2000). All in the genes? - young people's understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education*, 34, 74-79.
- Lewis, J., & Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance – do students see any relationship. *International Journal of Science Education*, 22, 177-195.
- Limón, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: A critical appraisal. *Learning and Instruction*, 11, 357-380.
- Löwe, B. (1992). *Biologieunterricht und Schülerinteresse an Biologie*. Weinheim: Deutscher Studienverlag.
- Lunetta, V. N. (1998). The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. In B. J. Fraser & K. J. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 249-262). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Mandel, M., & Higa, A. (1970). Calcium-dependent bacteriophage DNA infection. *Journal of Molecular Biology*, 53, 159-162.
- Meyer, D. K. & Turner, J. C. (2002). Discovering emotion in classroom motivation research. *Educational Psychologist*, 37, 107-114.
- Morrison, J. A., & Lederman, N. G. (2003). Science teachers' diagnosis and understanding of students' preconceptions. *Science Education*, 87, 849-867.

- Niebert, K. (2008). „Ich finde es gut, wenn es bei uns ein bisschen wärmer wird.“ *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 7, 23-38.
- Novak, J. D., & Govin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental-effort and performance measures. *Human Factors*, 35, 737-743.
- Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86, 122-133.
- Paas, F., Van Merriënboer J. J. G., & Adam, J. J. (1994). Measurement of cognitive-load in instructional research. *Perceptual and Motor Skills*, 79, 419-430.
- Palmer, D. H. (1999). Exploring the link between students' scientific and nonscientific conceptions. *Science Education*, 83, 639-653.
- Pearsall, N. R., Skipper, J., & Mintzes, J. (1997). Knowledge restructuring in the life sciences: A longitudinal study of conceptual change in biology. *Science Education*, 81, 193-215.
- Pekrun, R. (1998). Schüleremotionen und ihre Förderung: Ein blinder Fleck der Unterrichtsforschung. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 45, 230-248.
- Pekrun, R., & Schiefele, U. (1996). Emotions- und motivationspsychologische Bedingungen der Lernleistung. In F. E. Weinert (Ed.), *Psychologie des Lernens und der Instruktion. Enzyklopädie der Psychologie*, I, 2, (pp. 152-179). Göttingen: Hogrefe.
- Pintrich, P. R., Marx, R. W., & Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63, 167-199.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Randler, C., & Bogner, F. X. (2002). Comparing methods of instruction using bird species identification skills as indicators. *Journal of Biological Education*, 36, 181-188.
- Roche Diagnostics GmbH (Hrsg., 2003). *Blue Genes*. Penzberg.
- Saka, A., Cerrah, L., Akdeniz, A. R., & Ayas, A. (2006). A cross-age study of the understanding of three genetic concepts: How do they image the gene, DNA and chromosome? *Journal of Science Education and Technology*, 15, 192-202.

- Säljö, R. (1999). Concepts, cognition and discourse. From mental structures to discursive tools. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 81-90). Amsterdam: Pergamon.
- Scharfenberg, F.-J. (2005). *Experimenteller Biologieunterricht zu Aspekten der Gentechnik im Lernort Labor: empirische Untersuchung zu Akzeptanz, Wissenserwerb und Interesse*. Doktorarbeit, Universität Bayreuth.
- Scharfenberg, F.-J., & Bogner, F. X. (2010). Instructional change of cognitive load in an out-of-school laboratory: Effects on cognitive achievement and students' activities during experimentation. *International Journal of Science Education, 32*, 829-844.
- Scharfenberg, F.-J., Bogner, F. X., & Klautke, S. (2007). Learning in a gene technology lab with educational focus: Results of a teaching unit with authentic experiments. *Biochemistry and Molecular Biology Education, 35*, 28-39.
- Schiefele, U., & Csikszentmihalyi, M. (1993). Interest and the quality of experience in classrooms. *Studies in Educational Psychology, 6*, 1-23.
- Schnotz, W., & Kürschner, C. (2007). A reconsideration of cognitive load theory. *Educational Psychology Review, 19*, 469-508.
- Spada, H. (1994). Conceptual change or multiple representations? *Learning and Instruction, 4*, 113-116.
- Stavy, R., & Berkovits, B. (1980). Cognitive conflict as a basis for teaching quantitative aspects of the concept of temperature. *Science Education, 64*, 679-692.
- Strike, K., & Posner, G. (1985). A conceptual change view of learning and understanding. In L. H. T. Pines & A. L. West (Eds.), *Cognitive structures and conceptual change* (pp. 211-232). Orlando, FL: Academic Press.
- Sturm, H., & Bogner, F. X. (2008). Student-oriented versus teacher-centred: The effect of learning at workstations about birds and bird flight on cognitive achievement and motivation. *International Journal of Science Education, 30*, 941-959.
- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. *The psychology of learning and motivation, 43*, 215-266.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review, 10*, 251-296.
- Tesch, M., & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 10*, 51-69.
- Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education, 10*, 159-169.

- Treagust, D. F. & Duit, R. (2008). Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural studies of Science Education*, 3, 297-328.
- Tsui, C.-Y., & Treagust, D. F. (2007). Understanding genetics: Analysis of secondary students' conceptual status. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, 205-235.
- Tyson, L. M., Venville, G. J., Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1997). A multidimensional framework for interpreting conceptual change events in the classroom. *Science Education*, 81, 387-404.
- Ulich, D., & Mayring, P. (1992). *Psychologie der Emotionen*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Van Gog, T., & Paas, F. (2008). Instructional efficiency: Revisiting the original construct in educational research. *Educational Psychologist*, 43, 16-26.
- Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretative framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 1031-1055.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., & Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, 11, 381-419.
- Winberg, T. M., & Berg, A. R. (2007). Students' cognitive focus during a chemistry laboratory exercise: Effects of a computer-simulated prelab. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, 1108-1133.
- Yanisch-Perron, C., Vieira, J., & Messing, J. (1985). Improved M13 phage cloning vectors and host strains: nucleotide sequencing of the M13mp18 and pUC9 vectors. *Gene*, 33, 103-119.

5. Liste der Publikationen

- A** Franke, G., Scharfenberg, F.-J., & Bogner, F. X.
Quantitative and qualitative investigation of pupils' alternative conceptions of fundamental terms and processes of gene technology
Educational Studies, eingereicht.
- B** Franke, G., & Bogner, F. X.
Conceptual change in students' molecular biology education: Tilting at wind-mills?
Journal of Educational Research (JER), in press (2009).
- C** Franke, G., & Bogner, F. X.
Cognitive influences of students' alternative conceptions within a hands-on gene technology module
Journal of Educational Research (JER), in press (2010).
- D** Franke, G., & Bogner, F. X.
Hands-on gene technology: How does a confrontation with alternative conceptions influence pupils' situational emotions and their learning achievement?
Educational Studies, eingereicht.

6. Darstellung des Eigenanteils

A

Die Schülerbefragung wurde ausschließlich von mir durchgeführt. Die statistische Auswertung der erhaltenen Daten wurde von mir und Herrn Dr. Scharfenberg etwa zu gleichen Anteilen vorgenommen. Die Hauptverantwortung für die Erstellung der Konzeption und die Ausführung der Veröffentlichung lag bei mir.

B

Die Unterrichtseinheit zum Thema Gentechnik wurde von mir eigenständig entwickelt und in allen Klassen durchgeführt. Alle dazugehörigen Experimente wurden von mir selbst vorbereitet. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte von mir, die Ausführung der Publikation wurde in erster Linie von mir erstellt.

C

Die Unterrichtseinheit zum Thema Gentechnik wurde komplett von mir entwickelt und in allen Klassen durchgeführt. Gleiches gilt für die Vorbereitung aller dazugehörigen Experimente. Die statistische Auswertung der Daten lag in meiner Verantwortung. Die Konzeption und Ausführung der Publikation wurde zum größten Teil von mir erstellt.

D

Die experimentelle Unterrichtseinheit zum Thema Gentechnik wurde von mir selbstständig entwickelt, alle dazugehörigen Experimente wurden von mir selbst vorbereitet. Der Unterricht wurde in allen teilnehmenden Klassen von mir gehalten. Alle statistischen Auswertungen wurden von mir durchgeführt. Die Konzeption und Ausführung der Veröffentlichung lagen hauptsächlich in meiner Verantwortung.

7. Teilarbeiten

7.1. Teilarbeit A

Franke, G., Scharfenberg, F.-J., & Bogner, F. X.

Quantitative and qualitative investigation of pupils' alternative conceptions of fundamental terms and processes of gene technology

Educational Studies, eingereicht.

Quantitative and qualitative investigation of pupils' alternative conceptions of fundamental terms and processes of gene technology

G. Franke*, F.-J. Scharfenberg, and F.X. Bogner

Institute of Biology Didactics, University of Bayreuth, D-95447 Bayreuth, Germany

*Corresponding author. University of Bayreuth, Institute of Biology Didactics, University

Campus/ NW I, D-95447 Bayreuth, Germany. Fax: +49 (0)921 55-2696; E-mail:

Gaitano.Franke@uni-bayreuth.de

Abstract

Our study monitored pupils' alternative conceptions about fundamental terms and processes of gene technology. 144 medium achieving novice 10th graders described their alternative conceptions within an open questionnaire with regard to terms of gene technology (four items) and processes of inheritance (three items). Their responses were iteratively categorized by following the method of inductive category development. 13 categories describing pupils' conceptions were assigned; some were allocated more than once in different terms/processes, such as 'object': We labelled them 'common categories'. Other categories were found only in the context of explaining single concepts ('specific categories') such as 'function'; they were only used when the common categories did not apply. In general, several categories were used to explain conceptions: Some combinations were conspicuously and often used, for example, 44.4% of all the pupils used the categories *phenotype* and *pedigree* in order to explain 'inheritance of traits'.

Altogether, we recommend knowledge about conceptions as being helpful for the classroom, for pre-service teacher education as well as for professional development of in-service teachers in molecular biology education.

Keywords: alternative conceptions; conceptual change; educational reconstruction; experimental realism; gene technology

Introduction

Alternative conceptions and conceptual change

Based on everyday experience, pupils hold own conceptions on different subjects of science education, which they bring along the classroom (e.g., Tanner and Allen 2005). Within the literature, many terms for pupils' own conceptions exist, such as 'preconceptions' (Novak 1977), 'alternative conceptions' (Driver and Easley 1978), 'misconceptions' (Helm 1980), 'alternative frameworks' (Driver 1981), 'common sense concepts' (Halloun and Hestenes 1985), 'initial conceptions' (Chi, Slotta and de Leeuw 1994), or 'everyday conceptions' (Lewis and Kattmann 2004). Within this paper, we use alternative conceptions as a neutral term for labelling pupils' conceptions.

Pupils' alternative conceptions are based on 'personal experiences' (Mills Shaw et al. 2008, 1158) and, especially in the area of genetics, are influenced by pupils' social environment (Born 2007). Often they differ from 'those generally accepted by the scientific community' (Treagust 1988, 159). This discrepancy may prevent pupils from understanding a scientific teaching object. Thus, pupils have to overcome their alternative conceptions and to reconstruct their thinking about the new 'to-be-learned' conception (Chi, Slotta and de Leeuw 1994, 27), within genetics education especially by using reasoning processes (Lawson and Thompson 1988). The consideration of pupils' alternative conceptions in a classroom is a prerequisite of such a conceptual change (Posner et al. 1982; Strike and Posner 1992). An acceptance of a to-be-learned scientific conception seems only possible when existing individual alternative conceptions and scientific ones are simultaneously acknowledged in order to prompt a cognitive conflict. To achieve this, Posner et al. (1982) noted four conditions: (1) A currently held conception does not satisfy the learner. (2) Any newly provided conception must be intelligible. (3) The learner must regard the new conception as plausible. (4) The new conception should lead to a fruitful research agenda. Nevertheless, the takeover of a to-be-learned conception may not occur suddenly, but rather follow a slow,

continuous learning process (Limón 2001), also described as ‘conceptual reconstruction’ (Sander, Jelemenska and Kattmann 2006, 122). Especially with regard to the scientific conception of gene, Venville and Treagust (1998, 1052) found an ‘evolutionary process’ in which the ‘previous [alternative] conceptions are reconciled with the new [scientific] conceptions’.

A potential practical way to cope with conceptual change in a classroom may lie in the theoretical ‘Model of the Educational Reconstruction’, which may bridge the gap between a science subject matter and pupils’ alternative conceptions hereto (Kattmann, Duit and Gropengießer 1998). Application of this model includes the capture of pupils’ alternative conceptions and its subsequent implementation in lessons, which may improve pupils’ learning, because pupils regard a scientific content as significant when their own conceptions are met (Born 2007). However, teaching staff has no time to survey alternative conceptions about a specific biological subject, it is the science educationists’ job to help define these alternative conceptions about selected topics. The integration of those results into teacher training programmes and teaching enhancement approaches may lead to a successful conversion of this theoretical model into practice.

Categorisation of pupils’ alternative conceptions

According to Chi, Slotta and de Leeuw (1994), the meaning of a conception can be determined by a categorisation, that is, the assignment to one or more categories within a system of categories. For a successful implementation of pupils’ alternative conceptions within teaching practice, such a categorisation seems necessary, coupled with an interpretation of the results herein found. The analysis may follow the ‘experimental realism’ theory of Lakoff (1987). According to Lakoff and Gallese (2005), day to day experience may lead to the development of individually embodied terms, labelled as ‘basic-level structures’. They depend on an individual’s personality and his/her ability to allocate himself/ herself in a

psychological and social environment (Lakoff 1987). Additionally, Lakoff (1987) described ‘imaginative conceptions’, which ‘are not directly grounded in experience, but drawn on the structure of our experience’ (Riemeier and Gropengießer 2008, 924). ‘Imaginative conceptions’ may provide an understanding of both the life-world and the scientific world by a metaphoric transference of embodied terms. For instance, ‘building a house’ as a part of pupils’ life-world experience may be used as metaphor to describe scientific learning (‘building of knowledge’) (Gropengießer 2007). The theory of ‘experimental realism’ may help to understand the (biological) world with the help of individual beliefs. Thus, essential mental structures in certain fields of knowledge may be determined (Gropengießer 2007).

Pupils’ alternative conceptions in genetics

Knowledge of pupils’ alternative conceptions within various subject areas has often be shown to lead to successful lessons, summarised within Pupils’ and Teachers’ Conceptions and Science Education database (Duit 2009). Nevertheless, the field of research into alternative conceptions within biology education is still emerging (Tanner and Allen 2005). Despite rapid advances in genetics research, this may especially prove true in the field of genetics education where only several results have already been published: Primarily, qualitative studies were published, using problem-centred semi-structured interviews coupled with qualitative content analysis. For instance, Lewis and Kattmann (2004, 195) found that German pupils aged 15-19 hold the alternative conception of genes as ‘small trait-bearing particles’. Additionally, there was ‘no clear distinction between genotype and phenotype’. At the quantitative level, up to now, only few studies were published. For instance, Venville and Treagust (1998) described a case study in grade 10 (Australian pupils), focussing on the term ‘genes’, ‘chromosomes’ and ‘DNA’. Scrutinising pupils’ knowledge for their conceptions with regard to those terms, they found 26 conceptions, for instance, ‘genes are passed form parents to offspring’ (Venville and Treagust 1998, 1038). Unfortunately, their results lacked information with regard to

objectivity of their work. Comparably without information regarding objectivity, too, Lewis, Leach and Wood-Robinson (2000) analysed a knowledge questionnaire with regard to 'biological terms' like 'genes' or 'genetic information', assessing English pupils aged 14-16. Despite pupils' previous genetic education, they found that they lacked an understanding of 'function, structure, and location of genes' (Lewis, Leach and Wood-Robinson 2000, 74). Within a re-analysis of this data set, Lewis and Kattmann (2004) reported the aforementioned alternative conception of genes as small particles, too. At least, Mills Shaw et al. (2008) analysed a knowledge essay contest of K-12 US pupils with regard to alternative conceptions. In total, they reported 27 conceptions in genetics content, for instance, 'genes determine all traits' (Mills Shaw et al. 2008, 1161). In summary, up to now, quantitative research with regard to pupils' alternative conception within genetics education focussed on data indirectly gathered out of knowledge assessment. Additionally, gene technology, which plays an outstanding role within genetics, was normally not included.

Present study

Thus, the objectives of our present study were to examine pupils' alternative conceptions of gene technology at a quantitative and qualitative level, applying a new approach by prompting the pupils directly to describe their conceptions. The subject of gene technology is a specified content of the existing German syllabus. We wanted to focus on its fundamental terms (gene, genetic engineering, clone, enzyme) and processes (inheritance of traits, transfer of genes, change of genotype) in order to derive recommendations for in-service teacher as well as pre-service teacher education. On the basis of our survey, teachers and teacher educators might be able to put an unequivocal focus to main alternative conceptions as well as to more exotic and perhaps rare ones.

In summary, our research questions were the following: (1) Which alternative conceptions to fundamental terms and processes of gene technology do pupils aged 14-16

have? (2) In what frequency do they appear? (3) Are specific conceptions combined with each other?

Methodology

The participants

We selected 10th graders at medium stratification level (Bavarian 'Realschule'). Altogether, five classes ($N = 144$) participated in the study (69 boys, 75 girls, age: $M = 15.6$, $SD = 0.70$). All pupils were novices with no experience of lessons in gene technology.

The measures

We administered an open questionnaire with seven items which was to be answered in about 30 min (Appendix 1). Pupils were prompted to describe in short, but complete sentences their conceptions to specific terms of gene technology (4 items: gene, genetic engineering, clone, enzyme) as well as to processes with regard to gene technology (3 items: inheritance of traits, transfer of genes, change of genotype).

We iteratively categorised pupils' descriptions by following the method of inductive category development (Mayring 2000) and subsequently assigned them to 13 categories (Table I, Table II). We pre-trained two categorisers in the application of our categorisation system who categorised all descriptions. Based on randomly selected ones of 10% participants, we assessed intra- and inter-rater consistency with Cohen's coefficient Kappa: intra-rater consistency $\kappa = .86$; inter-rater consistency $\kappa = .72$ (Cohen 1968), which can be rated as 'substantial' to 'almost perfect' (Wolf 1997, 964).

Results

In total, we extracted 13 different categories of conceptions, which we subsequently classified into two main groups: (1) common categories of conceptions, which we found within at least

two descriptions of conceptions with regard to the different terms or processes (Table I): *Phenotype* (6x), *Genotype* (5x), *Procedure* (5x), *Pedigree* (4x), *Object* (4x), *Valuation* (3x) and *Localisation* (2x); (2) specific ones, which we found just once (Table II): *Container*, *Transmission*, *Individuality*, *Function*, *Source*, and *Science*. The number of the yielded categories per term or process ranged from three (e.g., ‘transfer of genes’) to seven (e.g., ‘gene’).

Table I. Common categories of pupils’ conceptions about terms and processes of gene technology

Category of conception	Definition Conception is connected	Pupils’ application to the term/ process of ...	Quotation of a pupil’s example
Genotype	... to genotypic level.	Gene	... means genetic information ...
		Genetic engineering	... means genes of the person ...
		Clone	... exists with the same genes.
		Inheritance of traits	... means that one has got different genes from his/ her parents.
		Change of genotype	... means that hereditary information will be changed.
Phenotype	... to phenotypic level.	Gene	... which eye colour one has, ...
		Genetic engineering	Traits of plants are being changed.
		Clone	If a person is cloned he/ she looks like the one he/ she has been cloned from.

		Inheritance of traits	Maybe the size, the appearance ... is meant here.
		Transfer of genes	If one transfers a trait to his child.
		Change of genotype	... is the chemical change of certain traits of the father.
Procedure	... to techniques and / or equipment.	Genetic engineering	... means experiments and investigations regarding genes.
		Clone	An animal changed or produced by genetic engineering ...
		Inheritance of traits	Specific inherited traits are transmitted by birth ...
		Transfer of genes	... means that one takes somebody's genotype and implements it on other persons.
		Change of genotype	... means that parts of the genotype are changed by medical techniques.
Pedigree	... to words showing relationships.	Gene	The child of a pair has the genes of his/ her parents...
		Inheritance of traits	... e.g., to have genes from one's father.
		Transfer of genes	The genotype we transfer to our sons or daughters.
		Change of genotype	E.g., if everybody in the family has blond hair and a child has red ones.
Valuation	... to value-related aspects.	Genetic engineering	If one tries to create a perfect human-being.

		Clone	... However, he/ she is not human, because he/ she was created, e.g., by some scientists or physicists.
		Change of genotype	... is a specific manipulation.
Object	... to a specific object.	Gene	... are small cells ...
		Clone	A copy of a person or an animal.
		Enzyme	... are corpuscles.
		Change of genotype	If one changes the genes of a human-being.
Localisation	... to a specific localisation.	Gene	... inside of the person ...
		Enzyme	... within cells

Table II. Specific categories of pupils' conceptions about terms and processes of gene technology

Application to the term of ...	Category of conception	Connection ...	Quotation of a pupil's example
Gene	Container	... to a container with something inside	A 'cell' with certain traits inside.
	Transmission	... to something which is transmitted.	Genes will be transmitted.
	Individuality	... to a unique specificity of genes.	A gene is the individual code of every living being.
Enzyme	Function	... to specific functions.	... are illness-restraining substances.
	Source	... to uptake from a source.	... are taken up by food.
Genetic engineering	Science	... to science or scientific approaches.	This is a specific science ...

Subsequently, we calculated frequencies of categorised conceptions for common (Figure 1, Appendix 2) and specific categories (Figure 2, Appendix 2).

Figure 1. Frequency of common categories of pupils' conceptions of terms/ processes of gene technology (multiple terming possible, Appendix 2)

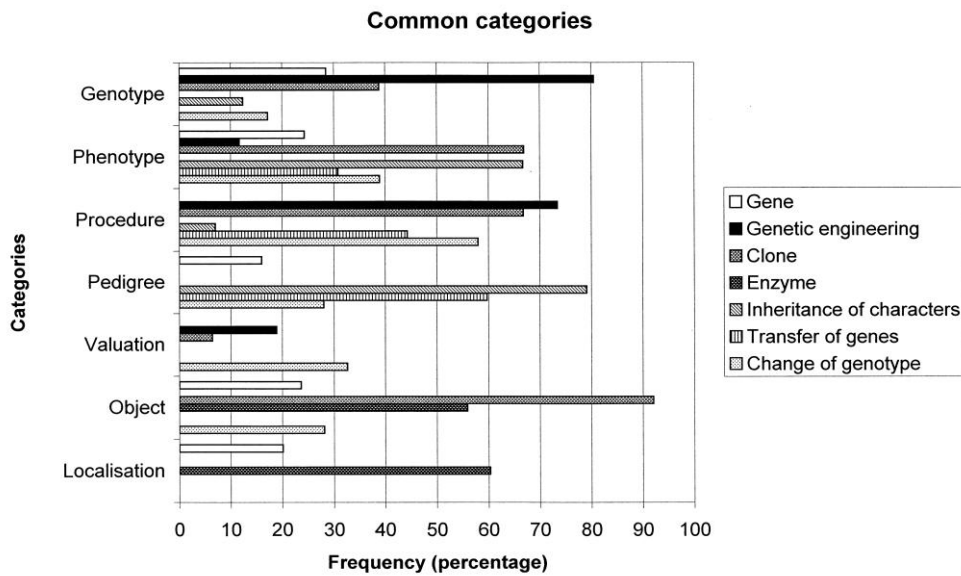
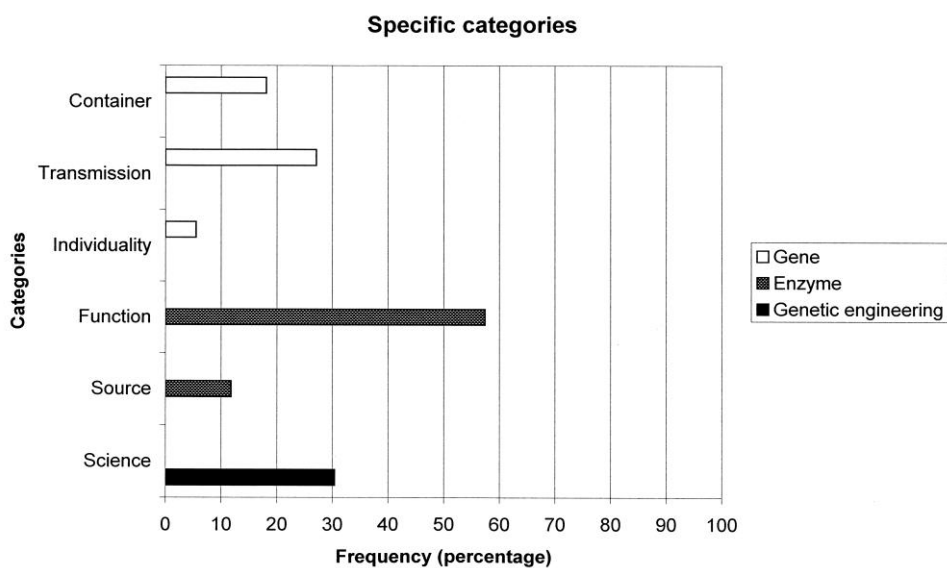


Figure 2. Frequency of specific categories of pupils' conceptions of the terms 'gene', 'enzyme' and 'genetic engineering' (multiple terming possible, Appendix 2)



Regarding the frequencies of described conceptions, some pupils described more than one conception (Table III) while different portions of pupils did not provide any suitable conception (Table III, notes b to h), in the case of ‘enzyme’ up to 52.8%. However, for the term ‘clone’ nearly every pupil provided at least one conception (96.5%), and for instance, in the cases of the terms ‘genetic engineering’ and ‘clone’ as well as of the process ‘change of genotype’, up to five different conceptions were provided by some pupils.

Table III. Coupling of pupils’ conceptions to the different terms/ processes of gene technology

Conceptions about ...	Frequency of coupled pupils’ conceptions (percentage)				
	None ^a	Two	Three	Four	Five
Gene ^b	32.6	38.9	11.8	3.5	-
Genetic engineering ^c	12.5	43.1	18.1	2.8	1.4
Clone ^d	6.3	29.9	41.0	18.8	0.7
Enzyme ^e	18.8	18.8	6.9	2.8	-
Inheritance of traits ^f	34.7	52.1	3.5	-	-
Transfer of genes ^g	28.5	29.2	12.5	-	-
Change of genotype ^h	32.6	27.8	13.2	2.8	0.7

Note: ^a Pupil described only one conception; Frequency of pupils describing no conceptions:

^b 13.2%; ^c 22.2%; ^d 3.5%; ^e 52.8%; ^f 9.7%; ^g 29.9%; ^h 22.9%

In the following, we describe those single categories, or combinations of them, which were prevalently provided in pupils’ descriptions of their conceptions. The bracketed numbers

show the frequencies of all pupils' conceptions (in percent): Concerning the term 'genes', the most conceptions belonged to the category *Object* (10.4%). Some pupils combined the categories *Genotype* and *Container* within their descriptions (9.7%), for instance, 'that's a sort of cell with hereditary information inside'. For describing their conceptions of the term 'genetic engineering', many pupils used a combination of the categories *Genotype* and *Procedure* (31.9%), for instance, 'possibility of changing genes by using technical equipment'. Some added the category *Science* (6.9%), for instance, 'specific science which transfers genes from one individual to another thereby creating a new sort of beings'. Conceptions of 'clone' were described either with the combination of the categories *Object* and *Phenotype* (11.1%), for instance, 'clones are the exact copy of living beings, they have the same genetic fingerprint' or with the combination *Object* and *Genotype* (10.4%), for instance, 'clones are two human beings with identical genes'. However, most pupils used a combination of three categories: *Object*, *Phenotype* and *Procedure* (31.9%), for instance, 'a clone is a human being who has been copied and looks like the original one'. Additionally, there are pupils who combined four categories *Object*, *Phenotype*, *Procedure* and *Genotype* (10.4%), for instance, 'a clone is a human being or another organism which has been copied exactly and includes the same genes and heredity information'. We received the most unequivocal and in terms of percentage fewest results with the descriptions to the term 'enzyme', for which by far the least pupils possessed conceptions (see above). Pupils used especially the categories *Localisation* or *Function* (6.9% or 7.6%), or a combination of both (7.6%), for instance, 'enzymes are part of our body; they care for different things'. Others combined *Object* with *Function* (6.3%), for instance, 'enzymes are particles which destroy organic materials' or even *Object*, *Function* and *Localisation* (6.9%), for instance, 'a corpuscle within a being, which protects from specific diseases'. Conceptions of the process 'inheritance of traits' employed exclusively the categories *Phenotype* (13.2%), *Pedigree* (17.4%), or its combination (44.4%), for instance, 'I have the same sort of laughter as my

mother'. The pupils' conception to 'transfer of genes' can be assigned to the categories *Procedure* (23.6%) or *Pedigree* (18.8%). If two categories were used at the same time, the combination of *Phenotype* and *Pedigree* was most frequent (16%), for instance, 'if a man's and a woman's traits are transferred to their child'. A clear picture arose with regard to the process 'change of genotype' where pupils primarily used the category *Procedure* (13.9%). A combination of several categories was observed often (43.5%, Table III), but no combination was proportionately conspicuous.

Discussion

Our results showed that pupils often have at least one conception of certain terms and processes of gene technology. In many cases, they used the same categories to describe their conceptions of different terms and processes, which we labelled as 'common categories': (1) The category *Genotype* was used mostly to describe genetic engineering. Thus, within our pupils' conceptions this is a work to be done at the level of the genes, in contrast to the results of Mills Shaw et al. (2008): Their K-12 pupils coupled 'genetic technologies' at the phenotypic level primarily to 'curing multiple diseases' (Mills Shaw et al. 2008, 1164) as well as to a trait expressed in the original manner after a gene transfer to a target organism. (2) The category *Phenotype* served especially for pupils' conceptions of 'clone', 'inheritance of traits', and 'change of genotype'. Lewis, Leach and Wood-Robinson (2000) found that a clear differentiation between genotype and phenotype is absent when pupils explaining their knowledge of the term 'gene'. In a study by Kattmann, Frerichs and Gluhedow (2005) pupils mostly used the phenotypic level to explain 'gene', while some of them even equated genes and traits. We found the same assignment, but rather more seldom (less than 20% of all pupils). Thus, the allocation to the genotype or the phenotype level was not easy for our pupils, and they sometimes combined both levels, too. (3) As expected, the category *Procedure* was used as conception of 'genetic engineering', 'inheritance of traits', 'transfer of

genes', and 'change of genotype', but also 'clone' is seen as a procedural conception. (4) The category of the conception *Pedigree* was found especially in connection with processes of gene technology, but also when describing conception of the term 'gene'. (5) 'Gene', 'clone' and 'enzyme' were regarded as *Object*. Additionally, this category has been connected with 'change of genotype'. Lewis and Kattmann (2004), too, found pupils' conceptions adequate with respect to this category: genes as small particles. (6) The category *Valuation* was used to describe 'genetic engineering' and 'clone'. In contrast, Kattmann, Frerichs and Gluhedew (2005) found an equivalent conception often used in connection with the term 'gene', as their pupils consider genes 'meaningful'. Nevertheless, we found a connection of the category *Individuality* to the conceptions of the term 'gene' (Table 2). (7) The category *Localisation* served exclusively for the description conceptions of 'gene' and 'enzyme'. In contrast to Lewis, Leach and Wood Robinson (2000), who have detected little awareness of 'where genes might be found', in our study, the category *Localisation* concerning 'gene' was used by 20.1% of the pupils.

Pupils used some categories only for describing conceptions of single terms ('specific categories'), for instance, a gene was regarded as a *Container*. This conception is also known from other subject areas, for instance, within the issue 'global warming' (Niebert 2008): Herein, pupils have the conception that earth as a container accumulates warmth. A potential cause for the use of the specific categories might be given by the insufficiency of the 'common categories' for describing their conceptions of terms: For instance, 'enzyme' was additionally described with the specific category *Function*. However, pupils, who extended their common categories in case of need, are rather rare (mostly less than 30% of all pupils).

Additionally, if a pupil's conception was assigned to only one category, there was not any most frequent category (e.g., the conceptions of the process 'transfer of genes' have been described either with the category *Procedure* or with *Pedigree*). Nevertheless, often categories were specifically combined, for instance, many pupils describing their conception

of ‘gene’ with the ‘common category’ *Genotype* combined it with the ‘specific category’ *Container*. ‘Genetic engineering’ was primarily seen as a process at the level of the *Genotype*, partly in connection with *Science*. Many pupils had the conception of a ‘clone’ as an *Object*, which originates in a *Process*. Less than half of the pupils had conceptions of the term ‘enzyme’, and if they had, no clear picture appeared. Nevertheless, within school lessons, teachers have to explain this term precisely, because enzymes form the basis for gene technology applications. Conceptions of the process ‘inheritance of traits’ were mostly described at phenotype level and combined with the category *Pedigree*. The phenotype level also serves for the description of the conceptions of ‘transfer of genes’, associated with *Pedigree*, too. In summary, our results resemble results of Martins and Ogborn (1997): Within their study with regard to metaphorical reasoning about genetics, primary school teachers very often combined different metaphors, for instance, to describe the term gene technology. The authors argued this phenomenon not as decorative extra, but as essential to the teachers for clarifying the genetic issues as the case may be for our pupils, too. Maybe this happened, because the topic gene technology was very present in the media and, hence, pupils had increasingly formed conceptions. It might also be caused due to gene technology having been treated before in another school subject (e.g., ethics).

At least, we can confirm the differentiation of pupils’ conceptions into two classes by Lakoff (1987): ‘basic level structures’ and ‘imaginative conceptions’. However, our main groups of categories (common and specific) did not comply with Lakoff’s ones. For instance, the common category *Localisation* as well as the specific one *Source* may be described as basic level structures, while a common category like *Pedigree* or a specific one like *Container* might be considered as imaginative conceptions showing a metaphorical transference. Some categories comply with both groups of Lakoff: *Object* may be regarded as basic levelled when described as human being in the case of ‘clone’ or ‘change of genotype’ while argued as imaginative when a ‘gene’ or ‘enzyme’ was conceptually given as particle. This metaphor

might point to a potential stability and/ or constancy of genes and proteins within pupils' thinking.

Conclusions

Applying the 'Model of Educational Reconstruction' (Kattmann, Duit and Gropengießer 1998), a necessary prerequisite for a potential conceptual change is the determination of pupils' conceptions of a specific issue. Our results showed that the number of categories pupils used to describe conceptions to terms and processes of gene technology was small because some categories were multiply used. Thus, teaching preparation might be more convenient for teachers when they want to consider selected conceptions in their classrooms and to employ a suitable teaching strategy within his/ her lesson. Such a strategy might be to present alternative conceptions on the basis of the 'constructivist teaching sequence' (Driver 1989). Applying this approach, the teacher does not review pupils' previous learning experiences, but begins with just such aspects of their understanding the issue that are contradictory for them. That is, pupils have to be confronted with different alternative conceptions, followed by the contradictory scientific view. Within another study with the same target sample, we compared this instructional approach based on our results (treatment group) with a conventional one (control group), both dealing with hands-on learning gene technology in an outreach learning environment: Pupils of the treatment group gave up more alternative conceptions in favour of the scientific views. Their conceptual change was especially effective in the long-term. However, control group pupils not exposed to this approach also changed some conceptions, but only in the short-term (authors, in press).

At least, we recommend implementation of our results within pre-service teacher education as well as with in-service teacher which is already done at our university.

References

- Born, Barbara. 2007. *Lernen mit Alltagsphantasien*. Wiesbaden, Germany: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Chi, M.T.H, J.D. Slotta, and N. de Leeuw. 1994. From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction* 4: 27-43.
- Cohen, J. 1968. Weighted Kappa: Nominal scale agreement with provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin* 70: 213-20.
- Driver, R. 1981. Pupils' alternative frameworks in science. *European Journal of Science Education* 3: 93-101.
- Driver, Rosalind. 1989. Changing conceptions. In *Adolescent development and school science*, ed. P.S. Adey, J. Bliss, J. Head and M. Shayer, 79-104. New York: The Falmer Press.
- Driver, R., and J. Easley. 1978. Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education* 5: 61-84.
- Duit, Reinders. 2009. *Bibliography: Students' and teachers' conceptions and science education (STCSE)*. Kiel, Germany: University of Kiel. <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html> (access 28 January 2010)
- Gallese, V., and G. Lakoff. 2005. The brain's concepts: The role of the sensory-motor system in reason and language. *Cognitive Neuropsychology* 22: 455-79.
- Gropengießer, Harald. 2007. Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In *Handbuch der Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*, ed. D. Krüger and H. Vogt, 105-16. Berlin: Springer Verlag.
- Halloun, I., and D. Hestenes. 1985. The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics* 53: 1043-55.

- Helm, H. 1980. Misconceptions in physics amongst South African students. *Physics Education* 15: 92–105.
- Kattmann, Ullrich, Reinders Duit, and Harald Gropengießer. 1998. Educational Reconstruction. Bringing together issues of scientific clarification and students' conceptions. In *What - Why - How? Research in Didaktik of Biology*, ed. H. Bayrhuber and F. Brinkman, 253-62. Kiel, Germany: IPN.
- Kattmann, U., V. Frerichs, and M. Gluhodowod. 2005. Gene sind charakterlos, *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 58: 324-30.
- Lakoff, George. 1987. *Women, fire, and dangerous things: what categories reveal about the mind*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lawson, A.E., and L.D. Thompson. 1988. Formal reasoning ability and misconceptions concerning genetics and natural selection. *Journal of Research in Science Teaching* 25: 733-46.
- Lewis, J., and U. Kattmann. 2004. Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education* 26: 195-206.
- Lewis, J., J. Leach, and C. Wood-Robinson. 2000. All in the genes? - young people's understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education* 34: 74- 9.
- Lewis, J., and C. Wood-Robinson. 2000. Genes, chromosomes, cell division and inheritance – do students see any relationship. *International Journal of Science Education* 22: 177-95.
- Limón, M. 2001. On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: A critical appraisal. *Learning and Instruction* 11: 357-80.
- Mayring, P. 2000. Qualitative content analysis. *Forum Qualitative Social Research* 1: 1-20.
- Mills Shaw, K.R., K. Van Horne, H. Zhang, and J. Boughman. 2008. Essay contest reveals misconceptions of high school students in genetics content. *Genetics* 178: 1157-68.

- Niebert, K. 2008. 'Ich finde es gut, wenn es bei uns ein bisschen wärmer wird.'
Erkenntnisweg Biologiedidaktik 7: 23-38.
- Novak, Joseph D. 1977. *A theory of education*. Ithaca: Cornell University Press.
- Ogborn, J., and I. Martins. 1996. Metaphorical understanding and scientific ideas.
International Journal of Science Education 18: 631-52.
- Posner, G.J., K.A. Strike, P.W. Hewson, and W.A. Gertzog. 1982. Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education* 66: 211-27.
- Riemeier, T. and H. Gropengießer. 2008. On the roots of difficulties in learning about cell division: Process-based analysis of students' conceptual development in teaching experiments. *International Journal of Science Education* 30: 923-39.
- Sander, E., P. Jelemenska, and U. Kattmann. 2006. Towards a better understanding of ecology. *Journal of Biological Education* 40: 119-23.
- Strike, Kenneth A., and George J. Posner. 1992. A revisionist theory of conceptual change. In *Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practise*, ed. R.A. Duschl and R.J. Hamilton, 147-76. New York: University Press.
- Tanner, K., and D. Allen. 2005. Approaches to biology teaching and learning: understanding the wrong answers – teaching toward Conceptual Change. *Cell Biology Education* 4: 112-7.
- Treagust, D.F. 1988. Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education* 10: 159-69.
- Venville, G.J., and D.F. Treagust. 1998. Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching* 35: 1031-55.

Wolf, Richard M. 1997. Rating scales. In *Educational research, methodology and measurement: An international handbook*, ed. J.P. Keeves, 958-65. Oxford, UK: Elsevier.

Acknowledgements

The study was funded by the Bavarian State Ministry of the Environment, Public Health and Consumer Protection, the Bavarian State Ministry of Education and the German Science Foundation (DFG, BO 944/4-4). We are very thankful to M. Wiseman for valuable discussion and for reading the text. We are specifically grateful to all the participating teachers and pupils involved in this study.

Notes on contributors

Gaitano Franke is lecturer at the Department of Biology Didactics at the University of Bayreuth.

Dr. Franz-Josef Scharfenberg is senior lecturer at the Department of Biology Didactics at the University of Bayreuth.

Prof. Dr. Franz X. Bogner is Chairman of the Biology Didactics at the University of Bayreuth and Chairman of the Bavarian Biology Didactics peers.

Appendix 1. Questionnaire about pupils' conceptions in gene technology

1. What are your conceptions with regard to the term 'gene'?
2. What are your conceptions with regard to the term 'genetic engineering'?
3. What are your conceptions with regard to the term 'clone'?
4. What are your conceptions with regard to the term 'enzyme'?
5. What are your conceptions with regard to the process 'inheritance of traits'?
6. What are your conceptions with regard to the process 'transfer of genes'?
7. What are your conceptions with regard to the process 'change of genotype'?

Appendix 2. Frequency of common and specific categories of pupils' conceptions within terms/ processes of gene technology (multiple terming possible)

Terms and processes of gene technology (percentage)							
Categories of conceptions	Gene	Genetic engineering	Clone	Enzyme	Inheritance of traits	Transfer of genes	Change of genotype
Common categories							
Genotype	28.5	80.5	38.8		12.4		17.2
Phenotype	24.3	11.7	66.9		66.7	30.8	38.9
Procedure		73.4	66.8		7.0	44.3	58.0
Pedigree	16.0				79.1	59.7	28.0
Valuation		18.9	6.4				32.6
Object	23.6		92.0	55.9			28.1
Localisation	20.1			60.3			
Specific categories							
Container	18.1						
Transmission	27.1						
Individuality	5.5						
Function				57.4			
Source				11.8			
Container		30.4					

7.2. Teilarbeit B

Franke, G., & Bogner, F. X.

Conceptual change in students' molecular biology education: Tilting at wind-mills?

Journal of Educational Research (JER), ***in press*** (2009).

Running head: CONCEPTUAL CHANGE IN MOLECULAR BIOLOGY EDUCATION

Conceptual change in students' molecular biology education: Tilting at windmills?

Gaitano Franke and Franz X. Bogner

University of Bayreuth

Correspondence concerning this article should be addressed to Gaitano Franke, Department of Biology Didactics, University of Bayreuth, University Campus/ NW I, D-95447 Bayreuth, Germany. E-mail: Gaitano.Franke@uni-bayreuth.de. Tel. +49 (0)921 55-2593. Fax +49 (0)921 55-2696.

Abstract

A hands-on instructional approach with medium achieving 10th graders ($N = 294$) successfully demonstrated the achievement of a conceptual change. Two teaching variations were applied (I-1, I-2), both dealing with a hands-on gene technology lesson in an out-of-school laboratory. I-2 additionally confronted the participants with alternative conceptions to some of the central issues involved in gene technology following a constructivist teaching model. We monitored the percentage of alternative conceptions by pre-, post- and delayed-post-tests.

In the long-term, I-2 abandoned more of their alternative conceptions in favour of the orthodox scientific view. Furthermore, a gender effect appeared: In the short-term, more boys within I-2 were forced to shift to more scientific conceptions. Girls filed their alternative conceptions also in the long-term, independently of the applied instructional method.

On the basis of everyday experiences, students have often already developed strong perceptions or contexts on the different subjects and carry these *alternative conceptions* into the classroom (e.g., Tanner & Allen, 2005). The latter ones ordinarily differ very strongly from a scientific conception (e.g., Morrison & Lederman, 2003; Palmer, 1999; Treagust, 1988), which is one reason why students do not understand scientific teaching objectives in the same way as their teachers expect. A conceptual change (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982), the learning step that changes an existing conception, occurs only seldom. The conceptual change theory, which was first presented by Posner et al. (1982), defines the necessary basic conditions for successful conceptual change: If a student becomes discomfort with an old conception and a new conception is logically entire, plausible and fertile, it can be accepted. In the original version conceptual change has been described as a radical change of conceptions (Posner et al.) while more recent publications view it as a rather slow but continuous learning process (Limón, 2001). Pozo, Gomez, and Sanz (1999) or Spada (1994) regarded conceptual change not as a simple replacement of alternative conceptions by scientific theories, but as a “different contextual activation of alternative representations” (Vosniadou, 1999, p. 5). Other researchers, such as Clark and Linn (2003) favour a “knowledge integration” view where students build up a number of individual conceptions which may exist alongside each other.

The classical model of conceptual change which concentrated on cognitive aspects was extended over the course of time. Nowadays, ontological and epistemological convictions of the students, as well as contextual, motivational and affective factors are taken into consideration (e.g., Caravita & Halldén, 1994; Dole & Sinatra, 1998; Duit & Treagust, 2003; Murphy & Mason, 2006; Pintrich, Marx & Boyle, 1993; Säljö, 1999; Treagust & Duit, 2008). In this context, Zembylas (2005) regarded cognitive and affective perspectives as equal.

Teaching for conceptual change

Over the years different approaches to conceptual change have been developed, such as contextualistic approaches (Caravita & Halldén, 1994) or cognitivistic approaches (e.g., categorisation-approaches, Chi, 1992 and theoretical framework approaches, Vosniadou & Brewer, 1992). Scott, Asoko, and Driver (1991) divided the developed teaching strategies into two groups and distinguished between “teaching strategies based upon conflict and its resolution” (p. 1) and “teaching strategies based upon the development of ideas consistent with the science point of view” (p. 3). The first, for example, may include the “conceptual change teaching strategy” (Nussbaum & Novick, 1982), the “generative learning model of teaching” (Cosgrove & Osborne, 1985) or the “ideational confrontation model” (Champagne, Gunstone & Klopfer, 1985). The analogical teaching strategy, introduced by Brown and Clement (1989), may be assigned to the second group of teaching strategies. Bridging analogies were often used in teaching units for facilitating conceptual change (e.g., Bryce & MacMillan, 2005; Clement, 1993; Yilmaz, Eryilmaz & Geban, 2006). Nevertheless, further models exist, for example, “cognitive apprenticeship” (Collins, Brown & Newman, 1989) or the constructivist “learning cycle” (Lawson, Abraham & Renner, 1989).

In this connection, the “constructivist teaching sequence” (Driver, 1989; Driver & Oldham, 1986) needs further description due to its modified introduction in this present study where it provides the cognitive basis for lessons in general. A first phase (“orientation”) is followed by a discovery phase of the students’ conceptions (“elicitation of ideas”) and a subsequent restructuring of the selected conceptions (“restructuring of ideas”). Alongside with this, a process of clarification and exchange takes place, when single conceptions were put in conflict to each other in order to allow construction of new conceptions. This phase is followed by an use of new conceptions (“application of ideas”) as well as by an assessment of the changes which may result from this (“review of change in ideas”). The teaching sequence is concluded by a consequent comparison of the new and old conceptions. Leach and Scott

(2008) reported that so-called “concept building” strategy introduced by Oser and Baeriswyl (2001) showed clear similarities to the “constructivist teaching sequence” between the learning steps. Nevertheless, in both models a cognitive conflict is regarded as necessary for convincing somebody of the scientific perception and to reach conceptual change. Concerning the importance of a cognitive conflict, there are contradicting studies: Some researchers found out, that a cognitive conflict may be linked with positive results in learning (e.g., Limón & Carretero, 1999; Mason, 2001), while others simply reported ineffectiveness (e.g., Chan, Burtis & Bereiter, 1997).

Regarding the effectiveness of constructivist teaching strategies with regard to facilitate conceptual changes, Harlen (1999) concluded no superiority of any strategy. Nevertheless, many studies showed conceptual change approaches – no matter which ones – as more efficient compared with traditional teaching strategies (Duit, Treagust & Widodo, 2008). However, the same authors described any comparison of different approaches always as difficult.

Some researchers were concerned that approaches about conceptual change did not adequately address the complex process of learning by concentrating too much on rational aspects only (e.g., Pintrich et al., 1993). Among other things, especially the lack of consideration of motivational aspects was criticized. Subsequently, Thyson, Venville, Harrison, and Treagust (1997, p. 397) argued for the construction of a “multidimensional interpretive framework” for conceptual change, in which ontological, social, affective and epistemological aspects were put into consideration.

A cooperative learning environment is necessary for successful conceptual change instruction. Students must feel comfortable in discussing their viewpoints and considering other perspectives (Bruning, Schraw & Ronning, 1999; Scott et al., 1991). This factor may play an important role when teaching employs the cognitive conflict strategy mentioned above. Nevertheless, some authors regard the limited impact on normal classroom lessons as a

general problem of all studies concerning conceptual change (e.g., Duit et al., 2008; Finn, 1988; Hargreaves, 1996).

Studies from a conceptual change perspective

Intervention studies in connection with conceptual change are frequent in different teaching fields, e.g., mechanics (Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou & Papademetriou, 2001), chemistry (e.g., Chiu, Chou & Liu, 2002) or evolution (e.g., Jensen & Finley, 1995). Some review-articles provide a good overview (e.g., Duit, 2009; Guzzetti, Snyder, Glass & Gamas, 1993; Wandersee, Mintzes & Novak, 1994). The latter explicitly confirmed the success of some teaching units which have taken students' conceptions into account. Although there have been a number of studies about genetics (e.g., Duncan & Reiser, 2007; Mbajorgu, Ezechi & Idoko, 2007; Tsui & Treagust, 2004, 2007; Venville & Treagust, 1998), to our knowledge no scientific study has been undertaken on the topic of this present study: teaching gene technology in a conceptual change domain. Regarding the genetic studies, for example, Tsui and Treagust (2007) reported that most of the participating students in the grades 10 and 12 improved their understanding of genetics in the development of genetic reasoning when teachers included computer multimedia in their classroom teaching. Venville and Treagust (1998) found out that the progress in 10th grade students' shifting from a wrong to a right ontological model of genes and students' better epistemological grasp of the nature of genes was mediated by contextual factors of the classroom environment, such as social and affective ones.

Unfortunately, problems still surround students' conceptual change. One such is a student's resistance to take over science conceptions, because of the existence of deep-rooted pre-instructional conceptions (Duit, 1999). With regard to adults, Bloom and Weisberg (2007) have examined, for instance, how the rejection of scientific facts persists from childhood into adulthood.

Studies about genetics and gender differences in a conceptual change domain

In science education, significant gender differences in the area of conceptual change have often been reported (e.g., Alparslan, Tekkaya & Geban, 2003; Chambers & Andre, 1997; Pearsall, Skipper & Mintzes, 1997). For example, Pearsall et al. (1997) examined conceptual change in college-level biology in a longitudinal study: They observed that female students scored higher in constructing a concept map about their understanding of cells or living things. In a study of the understanding of respiration of 11th graders, Alparslan et al. (2003) observed a significant better performance by girls. Nevertheless, in connection with the topic genetics, up to now no study about conceptual change is known where gender mattered (e.g., Dogru-Atay & Tekkaya, 2008).

In our present study, we examined students' conceptual changes in a gene technology lesson with regard to gender effects, since we observed such differences in another study involving students' emotions in lessons (Franke & Bogner, submitted). There we demonstrated that a boys' well-being was significantly higher when confronted with alternative conceptions while girls' scores were not affected. The lessons about gene technology were carried out in an out-of-school laboratory.

Out-of-school laboratories in Germany

Until recently, about 200 out-of-school laboratories existed in Germany, founded by the industries, research establishments and universities (Hillebrandt & Dähnhardt, 2005). These special laboratories are accessible to whole classes or groups of 20-30 students (on average) as well as their accompanying teachers. The visit of an out-of-school laboratory is a voluntary offer to students and teachers; the latter decide about participation. Altogether about 300000 students per year visit those facilities mainly from 9th to 13th grades (Hillebrandt & Dähnhardt, 2005). The lessons provided deal with natural sciences and technology, the majority offering specific experiments mostly within the field of gene technology (Maxton-Küchenmeister, 2003). Nevertheless, the objectives of the lessons in all such out-of-school

laboratories are similar: Students' interest in scientific subjects should be awakened, while a contemporary picture of the research is presented to them (Hillebrandt & Dähnhardt, 2005).

In German classrooms teachers apparently mainly use experiments for illustration purposes in their lessons (e.g., Baumert & Köller, 2000; Tesch & Duit, 2004). On the other hand, the proportion of hands-on oriented lessons independently carried out by students have been shown to be rather low (e.g., Scharfenberg, Bogner & Klautke, 2007), mostly due to lack of appropriate equipment at the schools. Out-of-school laboratories try to reduce this deficit by offering experimental units where students have to perform hands-on activities (Engeln & Euler, 2004). By doing so, students are expected "to gain authentic and practical learning experience beyond the conventional lessons" (Euler, 2001, p. 17). Hence, they are expected to acquire not only pure factual knowledge, but are manoeuvred into a situation permitting understanding of this knowledge and the application of it for problem solving within the scope of their own experiments (Engeln & Euler, 2004).

Current study

Our present study empirically examined both genders' conceptual change in an experimental gene technology lesson by concentrating on cognitive aspects. Nevertheless, we considered affective factors in the lessons as well, but we will show these results in another study (Franke & Bogner, submitted). Consequently, our research objectives were threefold: (a) Is there a conceptual change achievable by confronting students with their alternative conceptions? (b) Do participating students keep the accepted scientific conceptions in the long-term? (c) Do gender-specific differences appear?

Methods

Participants

A total of 294 secondary school students (160 boys, 134 girls) from eleven classes took part in our study; their mean age was 16.1 ($SD = 0.76$). They came from medium achieving 10th grades (Realschule, Bavaria) and were all comparable in age and average

level of performance in science. The subject of our lessons, gene technology, was a completely new subject for all participants. However, all students learned basic genetics for about one term as specified in the official syllabus.

Teaching unit about gene technology

Our gene technology teaching unit corresponded to the official syllabus by concentrating on eight specific learning goals: (a) ability to carry out gene technology experiments in small groups, (b) overview about the principles of gene technology, (c) overview about how restriction enzymes work, (d) overview about the processes of the recombination of a plasmid, (e) knowledge about the transformation of bacteria, (f) overview about the meaning of inoculation of bacteria samples on agar plates, (g) ability to evaluate the results of the inoculation and (h) disposition to discuss about ethical aspects of the production of transgenic organisms. It took place in an out-of-school laboratory, due to limitations in the possibility of hands-on work at school. The lessons consisted of a 60-min pre-lab phase and a 300-min experimental-lab phase. In the pre-lab phase, the students were cautiously and gradually made familiar with the basic operations at their working place, such as the correct using of a micro-pipette or sterile working. This phase is necessary to permit safe execution of the subsequent experimental-lab phase (Dunn & Boud, 1986; Lunetta, 1998). In the experimental-lab phase, four experiments of gene technology were performed: (a) enzymatic restriction of plasmidic DNA with two selected enzymes, (b) ligation of DNA, (c) transformation of bacteria with recombinant plasmids and (d) inoculation of the bacterial samples on agar plates.

Research design

The study showed a quasi-experimental design (see Table 1) splitting the participants into two instruction groups, (I-1) and (I-2). Both followed the same instructional procedure by additionally confronting I-2 with students' alternative conceptions, according to the constructivist teaching sequence described on top (Driver, 1989). The students' conceptions

turned on central concepts and processes of the gene technology, for instance, bacterial genotype as the inheritance of illnesses or change of genotype as a specific manipulation. These conceptions were examined by analysing an open questionnaire. They were not – as Driver (1989) suggested – explored in the specific lessons described above, but were rather tackled earlier in five 10th classes of a secondary school with the same medium stratification level as the students in the present study (Franke, Scharfenberg & Bogner, submitted). One of these classes later participated in our experimental-laboratory lessons as a partial-group of I-2. Unfortunately, the remaining four classes could not take part in the lessons for organisational reasons. Based on the received alternative conceptions, we designed suitable lessons about gene technology.

Table 1

Design of the quasi-experimental study

Pre-test (T-1)			
One week			
Groups	Instruction group 1 (I-1)	Instruction group 2 (I-2)	Control group (C)
60 min	Pre-lab phase	Pre-lab phase	--
300 min	Experimental-lab lesson (without confrontation with students' alternative conceptions)	Experimental-lab lesson (with confrontation with students' alternative conceptions)	--
Post-test (T-2)			--
Six weeks			
Delayed-post-test (T-3)			

A teacher, unknown by the students, presented the received conceptions in the lessons. Afterwards, he confronted students with contradictions, to elicit from them a cognitive conflict. In order to achieve a conceptual change, the specialised scientific view was presented to the students. In a following experimental situation the new knowledge was applied. The last phase, the review of change in ideas (Driver, 1989), unfortunately had to be renounced for time constraint reasons. A control group (C; $n = 72$) with no instruction was included. Students of the latter group were drawn from other classes but within the same stratification, age and level of pre-knowledge. The control group permitted the exclusion of any potential pre-test effect, repeated test bias or other potential external influences (Lienert & Raatz, 1998).

Measures

To monitor students' conceptions or their learned specialised scientific conceptions a self-developed multiple-choice-questionnaire was used. It contained eight questions exploring the central concepts and processes of gene technology (see Appendix C). To every question there were four possible answers, one of which was scientifically correct answer. The remaining three distractors represented students' alternative conceptions that were derived from another study (Franke, Scharfenberg & Bogner, submitted). With this testing instrument the percentage of students' alternative conceptions or specialised scientific conceptions of the single concepts or processes of the gene technology should be ascertained at different times. Every instruction group answered the identical questionnaire three times. To eliminate any potential for bias, the order of single questions and the order of the four possible multiple choice answers were respectively changed. Additionally, students were never aware of any testing schedule or of any repeated testing situation (Bogner, 1998). The pre-test (T-1) was led one week before the lessons. It was served to determine the existing extent of the students' conceptions or the specialised scientific conceptions. Immediately after the experimental lessons, all students worked on a post-test (T-2). Six weeks after the post-test a delayed-post-

test (T-3) was carried out to check the long-term effect of a possible conceptual change. Within the control group, only the pre- and delayed-post-test were carried out within the same 6-week time frame without treating the subject of gene technology in the lessons.

SPSS 15.0 was used for the statistical analysis. To carry out calculations to the frequencies of the specialised scientific conceptions or the students' alternative conceptions, the specialised scientifically correct answers were scored with one point, the valued students' conceptions with no point. Cronbach's α revealed .54 (post-test) and .53 (delayed-post-test). Nevertheless, Lienert and Raatz (1998) have shown that reliability analyses in knowledge tests are always difficult due to their ad-hoc-character, although reliability coefficients less than .6 allow differentiating groups, especially in knowledge achievement tests. We used non-parametric tests for statistical evaluation, because sum-scores of all three tests were non-normally distributed as shown by a significant Kolmogorov-Smirnov-Test with Lilliefors Significance Correction ($p < .001$ in T-1, T-2 and T-3).

Results

Question 1: Is there a conceptual change achievable by confronting students with their alternative conceptions?

The specialised scientific conception score increased in the group as a whole (G) in general, $\chi^2(2, N = 294) = 78.03, p < .001$. Both instruction groups provided similar prior knowledge levels in the pre-test, Mann-Whitney-U-Test ($Z = -1.21, p = .23$, two-tailed). The post-test and the delayed-post-test, however, differed significantly (see Table 2). Subsequent pair-wise analyses of both groups identified higher specialised knowledge scores for I-2 in post- and delayed-post-tests compared to I-1 (see Figure 1, Appendix A).

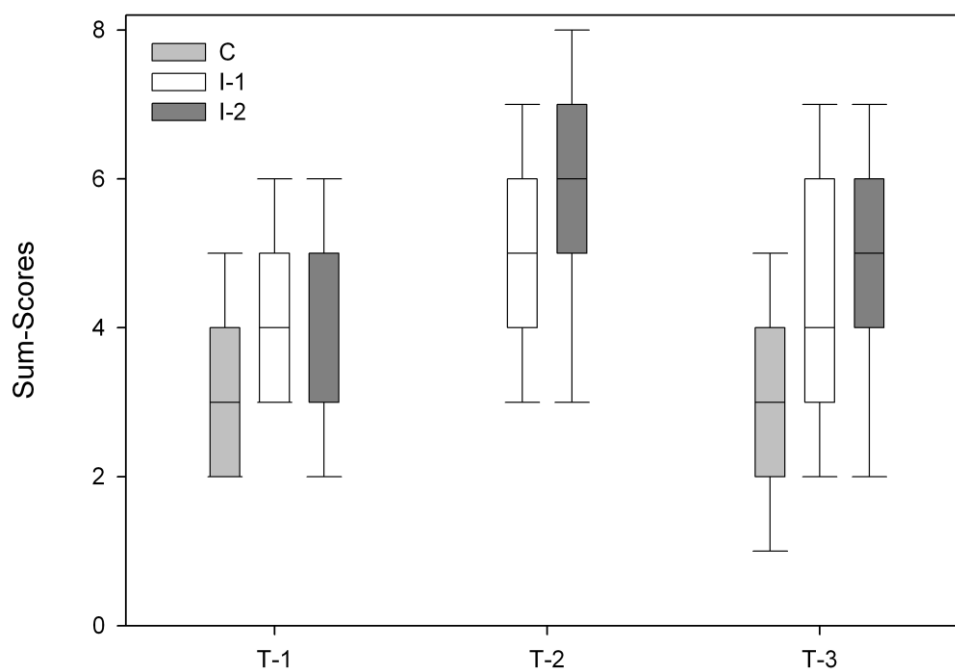
Table 2

A between-group comparison (I-1/I-2) of specialist scientific conceptions in the post-test and the delayed-post-test (Mann-Whitney-U-Test)

Test	Mann-Whitney-U-Test	
	Z	p
Post-test	-2.84	.01
Delayed-post-test	-2.33	.02

Note: $n_{I-1} = 138, n_{I-2} = 156$

Figure 1. Changes in the over-all specialised scientific conceptions scores in both instruction-groups over all test schedules; C= control-group; I-1= instruction group without confrontation; I-2= instruction group with confrontation



Control group scores did not differ at all, Wilcoxon-Test ($Z = -1.43, p = .15$, two-tailed). Thus, during the six-week period without instructions no influence was observed. Nor did any usage of our specialised scientific conception questionnaire influence the test scores.

Question 2: Do participating students keep the accepted scientific conceptions in the long-term?

Furthermore, the in-group comparison of both instruction groups (I-1, I-2) revealed significant differences between the pre-test and post-test, and the post-test and delayed-post-test respectively. In addition, group I-2 showed these differences between the pre- and delayed-post-test (see Table 3). In the short-term, the students from both instruction groups substituted some of their alternative conceptions with the specialised scientific views, nevertheless, in the long-term, only I-2 showed significant changes.

Table 3

In-group comparison of specialist scientific conceptions (Wilcoxon-Test)

Groups	Pre-test vs. Post-test		Post-test vs. Delayed-post-test		Pre-test vs. Delayed-post-test	
	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>
	C (<i>n</i> = 72)	-	-	-	-	-1.43
G ^a (<i>n</i> = 294)	-8.22	< .001	-5.51	< .001	-3.52	< .001
I-1 (<i>n</i> = 138)	-5.01	< .001	-3.92	< .001	-1.62	.11
I-2 (<i>n</i> = 156)	-6.56	< .001	-3.88	< .001	-3.30	< .001

Note: ^agroup as a whole.

Question 3: Do gender-specific differences appear?

As in the group as a whole, the same effect was noticed with the gender-specific in-group comparison. Girls alone unlearned their alternative conceptions significantly in the long-term (see Table 4).

Table 4

Gender-specific in-group comparison of specialist scientific conceptions in the whole sample (Wilcoxon-Test)

Gender	Pre-test vs. Post-test		Post-test vs. Delayed-post-test		Pre-test vs. Delayed-post-test	
	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>
	Females (<i>n</i> = 134)	-5.72	< .001	-2.90	< .001	-3.79
Males (<i>n</i> = 160)	-5.92	< .001	-4.75	< .001	-1.38	.17

Nevertheless, it was unimportant to which instruction group the girls belonged: Girls retained the specialised scientific conceptions in the long-term, whilst boys only for a shorter period (see Table 5).

Table 5

Gender-specific in-group comparison of specialist scientific conceptions in the instruction groups I-1 and I-2 (Wilcoxon-Test)

Groups	Pre-test vs. Delayed-post-test	
	<i>Z</i>	<i>p</i>
	I-1	
Females (<i>n</i> = 67)	-2.61	.01
Males (<i>n</i> = 71)	-0.05	.96
	I-2	
Females (<i>n</i> = 67)	-2.79	.01
Males (<i>n</i> = 89)	-1.92	.06

The gender-specific cross-comparison between the two instruction groups showed significant differences in the post-test and delayed-post-test of the males, but not in those of the females (see Figure 2, Table 6).

Figure 2. Changes in over-all specialised scientific conception scores of males in the two instruction groups over all test schedules; I-1=instruction group without confrontation; I-2=instruction group with confrontation

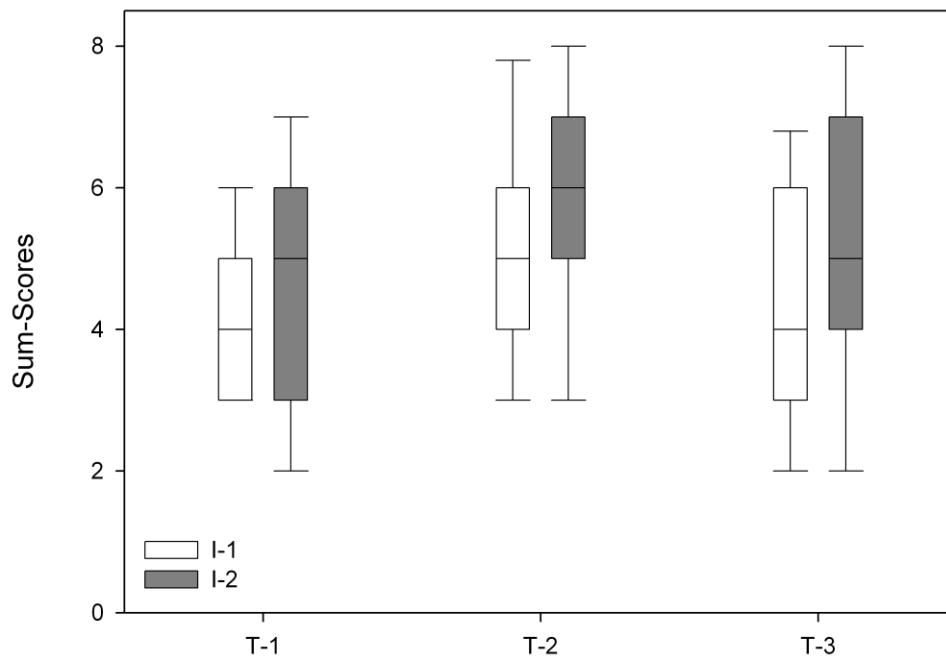


Table 6

Gender-specific cross-comparison between the two instruction groups (Mann-Whitney-U-Test)

Test	Mann-Whitney-U-Test			
	Females ^a		Males ^b	
	Z	p	Z	p
Pre-test	-0.40	.69	-1.33	.18
Post-test	-1.39	.16	-2.54	.01
Delayed-post-test	-0.87	.38	-2.32	.02

Note: ^a $n_{I-1}(\text{females}) = 67$, $n_{I-2}(\text{females}) = 67$; ^b $n_{I-1}(\text{males}) = 71$, $n_{I-2}(\text{males}) = 89$

Discussion

The main purpose of our study concentrated on the achievement of a conceptual change by confronting students with their alternative conceptions. In the following, we will discuss our results with regard to both methodological aspects and hypothesized effects.

Methodologically, we considered the validity of our self-developed multiple-choice-questionnaire for monitoring students' conceptions. As we mentioned in the methods section, one of the five classes we used for tackling the alternative conceptions, later participated as partial-group in our experimental-laboratory lessons. We checked the changes in students' conceptions within this partial-group over all test schedules. We monitored a significant increase rate of the scientific conceptions score, $\chi^2(2, n = 26) = 8.48, p = .01$. This result confirms that our quantitative test is really suitable for measuring the changes in students' conceptions.

With regard to the effects hypothesized, the attempt to change students' alternative conceptions about concepts and processes of the gene technology in favour of the specialised scientific image was successful. The positive result of this study speaks up for the demand by some science educationists for using students' alternative conceptions for the constructing of lessons (e.g., Kattmann, Duit & Gropengießer, 1998). Our result is in line with other studies which showed a greater conceptual change in treatment groups, too (e.g., Guzetti et al., 1993; Kalman, Morris, Cottin & Gordon, 1999), although the topic and the intervention methodology were hardly comparable with our present study. At a short notice, all our students of the experimental lesson showed an exchange of their alternative conceptions for the specialised scientific view. If the students were confronted within the lessons, additionally, with their own conceptions and stimulated to an objective discussion about these, the effect was not only more distinctive, but lasted also longer. Due to a cognitive conflict, our students very likely have filed some of their old conceptions and taken over the more plausible specialised scientific explanations. Here we go inline with the results of other

studies where a cognitive conflict may be linked with positive results in learning (e.g., Limón & Carretero, 1999; Mason, 2001). Kang, Scharmann and Noh (2004) showed that a cognitive conflict really is a necessary condition for conceptual change.

In a study by Capon and Kuhn (2004) about learning of two concepts, adult students showed a better performance in the long-term, if they experienced problem-based learning. The authors explain the success of this method with the fact, that students “more often were able to integrate newly acquired concepts with existing knowledge structures that had been activated.” (Capon & Kuhn, 2004, p. 74). We think that this explanation can be also applied on the present study, if we regard our cognitive conflict strategy as a variation of problem-based learning.

The research outcome we show is qualified, if one compares the single results for both gender. Thus for the boys the confrontation group in the post-test as well as in the delayed-post-test showed a significantly higher acceptance of specialised scientific conceptions than the group without confrontation. Nevertheless, the old conceptions were also preserved within this group in the long-term. In the short-term, boys responded strongly to the confrontation method, but lost their gained knowledge again in favour of their old conceptions after some time. The statement of many intervention studies “that change does not come easily, that there are resistances against change to science conceptions” (Duit, 1999, p. 266), was confirmed here. Vosniadou (1999, p. 12) called those deep-rooted conceptions “entrenched.” On this occasion, for example, insufficiently available background knowledge could have played a role (e.g., Chinn & Brewer, 1993; Strike & Posner, 1985), that is, in our judgement, why the students could not understand some of the specialised scientific views at all. Nevertheless, the possibility that this result may be caused by motivational factors, as for example by their low interest, seems not to be justified: Students evidentially showed a high situational interest in the laboratory lessons (Franke & Bogner, submitted).

In the short-term and in the long-term girls showed a successful adoption of the specialised scientific conceptions. Nevertheless, it was unimportant whether one mentions students' conceptions in the lessons or not. According to this study, girls were all together more open to the scientific images. Either they were more prepared to take up the new conceptions, or their old conceptions have rooted less deeply. Similar results appeared in a longitudinal study of Pearsall et al. (1997) about conceptual change in biology. Here, females mostly scored better results in concept mapping than males. Novak and Govin (1984) deliver a possible explanation of this. They see a sex-specific difference in the development of learning styles as a result of the socialisation. Females are afterwards "more acquiescent, and accept the primarily rote learning patterns characteristic of much school learning" (Novak & Govin, 1984, p. 161). To sum up, it can be said that the ascertained differences between both groups especially are based on the male students. The long-term success of confrontation lessons is demonstrated primarily by the results from the girls.

Conclusions

Hands-on lessons in an outreach learning place do not automatically change students' conceptions. It is necessary to grasp students' conceptions for using them in a confrontation lesson, but this is not only a teachers' task. It is the science educationists' job to help to define these alternative conceptions about selected topics and to integrate them into teacher training programmes and teaching enhancement approaches. These training programmes are absolutely necessary for teachers, so that they are able to encourage students in developing intellectual skills for constructing their knowledge (Kuhn, 2007).

Two strategies in our lessons might be pursued – as a function of gender. The inclusion of students' conceptions seems to offer no appreciable success for girls. Here, the finding suggests that the specialised scientific conceptions must be specifically processed in a proper didactical manner and mediated by a suitable method. Short-term conceptual change is easier to achieve with boys. Should the specialised scientific conception be set up in the long-

term, repeated confrontations are necessary. There are some research studies about instructional quality that showed that a single intervention is not leading to better outcomes (e.g., Baumert & Köller, 2000; Weinert, Schrader & Helmke, 1989). Nevertheless, this plan for repeating confrontations presents some difficulty for a school's everyday life and lessons. A suitable possibility could be the strengthening of the arrangement of lessons in a spiral curriculum (Bruner, 1960) where teaching in subsequent classes is repeated with other aspects added. In this manner, it would be possible for the teacher, to explain the teaching material and with it the students' alternative conceptions in different developmental stages. At the same time, a more deep employment of an underlying phenomenon may take place. Nevertheless, other teaching-methods such as "bridging analogies" (Brown & Clement, 1989) may additionally achieve longer-term results. Our conclusion leads us to propose that an optimal teaching method sufficiently differs between both genders which requires a radical re-think in teaching. Possibly, this might be achieved by a partial re-establishment of single-sex classes for specific selected topics. Nevertheless, to foster an introduction of conceptual change in a normal classroom, teachers need to be informed about conceptual change requirements (e.g., Duit et al., 2008).

References

- Alparslan, C., Tekkaya, C., & Geban, O. (2003). Using the conceptual change instruction to improve learning. *Journal of Biological Education*, 37, 133-137.
- Baumert, J., & Köller, O. (2000). Unterrichtsgestaltung, verständnisvolles Lernen und multiple Zielerreichung im Mathematik- und Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe [Teaching strategies, meaningful learning, and multiple modes of achieving aims in math and physics education within K12-education at highest stratification level]. In J. Baumert, W. Bos, & R. Lehmann (Eds.), *TIMSS/III Dritte internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie – Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn, Bd. 2: Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe* (pp. 271-315). Opladen, Germany: Leske + Buderich.
- Bloom, P., & Weisberg, D. S. (2007). Childhood origins of adult resistance to science. *Science*, 316, 996-997.
- Bogner, F. X. (1998). The influence of short-term outdoor ecology education on long-term variables of environmental perspectives. *Journal of Environmental Education*, 29, 17-29.
- Brown, D. E., & Clement, J. (1989). Overcoming misconceptions by analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction, *Instructional Science*, 18, 237-261.
- Bruner, J. S. (1960). *The process of education*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Bruning, R. H., Schraw, G. J., & Ronning, R. R. (1999). *Cognitive psychology and instruction*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Bryce, T., & MacMillan, K. (2005). Encouraging conceptual change: the use of bridging analogies in the teaching of action-reaction forces and the ‘at rest’ conditions in physics. *International Journal of Science Education*, 27, 737-763.
- Caravita, S., & Halldén, O. (1994). Re-framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 89-111.

- Chambers, S. K., & Andre, T. (1997). Gender, prior knowledge, interest, and experience in electricity and conceptual change text manipulations in learning about direct current. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 107-123.
- Champagne, A. B., Gunstone, R. F., & Klopfer, L. E. (1985). Effecting changes in cognitive structures among physics students. In L. West & A. Pines (Eds.), *Cognitive structure and conceptual change* (pp. 61-90). Orlando, FL: Academic Press.
- Chan, C., Burtis, J., & Bereiter, C. (1997). Knowledge building as a mediator of conflict in conceptual change. *Cognition and Instruction*, 15, 1-40.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery science. In R. N. Giere (Ed.), *Cognitive models of science, Minnesota studies in the Philosophy of Science* (pp. 129-186). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1-49.
- Chiu, M.-H., Chou, C.-C., & Liu, C.-J. (2002). Dynamic processes of conceptual change: Analysis of constructing mental models of chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 688-712.
- Clark, D. B., & Linn, M. C. (2003). Scaffolding knowledge integration through curricular depth. *Journal of Learning Sciences*, 12, 451-494.
- Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring institutions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 1241-1257.
- Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing and mathematics. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning and instruction* (pp. 453-494). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Capon, N., & Kuhn, D. (2004). What's so good about problem-based learning? *Cognition and Instruction*, 22, 61-79.
- Cosgrove, M., & Osborne, R. (1985). Lesson frameworks for changing children's ideas. In R. Osborne & P. Freyberg (Eds.), *Learning in science: The implications of children's science* (pp. 101-111). Auckland, New Zealand: Heinemann.
- Dogru-Atay, P., & Tekkaya, C. (2008). Promoting students' learning in genetics with the learning cycle. *The Journal of Experimental Education*, 76, 259-280.
- Dole, J. A., & Sinatra, G. M. (1998). Reconceptualizing change in the cognitive construction of knowledge. *Educational Psychologist*, 33, 109-128.
- Driver, R. (1989). Changing conceptions. In P. Adey, J. Bliss, J. Head, & M. Shayer (Eds.), *Adolescent development and school science* (pp. 79-104). New York: The Falmer Press.
- Driver, R., & Oldham, V. (1985). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 263-282). Amsterdam: Pergamon.
- Duit, R. (2009). *Bibliography STCSE: Students' and teachers' conceptions and science education*. Kiel, Germany: IPN (<http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>)
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25, 671-688.
- Duit, R., Treagust, D., & Widodo, A. (2008). Teaching science for conceptual change: theory and practice. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 629-646). New York, London: Routledge.
- Duncan, R. G., & Reiser, B. J. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: Students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, 938-959.

- Dunn, J., & Boud, D. (1986). Sequencing and organization. In D. Boud, J. Dunn & E. Hegarty-Hazel (Eds.), *Teaching in laboratories*. Exeter, England: NFER- Nelson.
- Engeln, K., & Euler, M. (2004). Forschen statt Pauken. Aktives Lernen im Schülerlabor [Researching instead of cramming. Active learning in an out-of-school laboratory]. *Physik Journal*, 3, 45-48.
- Euler, M. (2001). Lernen durch Experimentieren [Learning by experimentation]. In U. Ringelband, M. Prenzel, & M. Euler (Eds.), *Lernort Labor – Initiativen zur naturwissenschaftlichen Bildung zwischen Schule, Forschung u. Wirtschaft* (pp. 13-42). Kiel, Germany: IPN.
- Finn, C. E. (1988). What ails education research? *Educational Researcher*, 17, 5-8.
- Guzetti, B. J., Snyder, T. E., Glass, G. V., & Gamas, W. S. (1993). Promoting conceptual change in science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education. *Reading Research Quarterly*, 28, 116-159.
- Hargreaves, D. (1996). *Teaching as a research-based profession: Possibilities and prospects*. London: Teacher Training Agency.
- Harlen, W. (1999). *Effective teaching of science: A review of research*. Edinburgh, Scotland: The Scottish Council for Research in Education.
- Hillebrandt, D., & Dähnhardt, D. (2005). Forschend lernen – Schülerlabore in Deutschland [Learning by research – out-of-school laboratories in Germany]. *TheoPrax*, 1, 20-23.
- Jensen, M. S., & Finley F. N. (1995). Teaching evolution using historical arguments in a conceptual change strategy. *Science Education*, 79, 147-166.
- Kalman, C. S., Morris, S., Cottin, C., & Gordon, R. (1999). Promoting conceptual change using collaborative groups in quantitative gateway courses. *American Journal of Physics: Physics Educational Research Supplement*, 67, 45–51.
- Kang, S., Scharmann, L. C., & Noh, T. (2004). Reexamining the role of cognitive conflict in science concept learning. *Research in Science Education*, 34, 71–96.

- Kattmann, U., Duit, R., & Gropengießer, H. (1998). Educational Reconstruction – Bringing together issues of scientific clarification and students' conceptions. In H. Bayrhuber & F. Brinkman (Eds.), *What - Why - How? Research in Didaktik of Biology* (pp. 253-262). Kiel, Germany: IPN.
- Kuhn, D. (2007). How to produce a high-achieving child. *Phi Delta Kappan*, 88, 757-763.
- Lawson, A. E., Abraham, M. R., & Renner, J. W. (1989). *A Theory of instruction: Using the learning cycle to teach science concepts and thinking skills*. Reston, VA: National Association for Research in Science Teaching.
- Leach, J. T., & Scott, P. H. (2008). Teaching for conceptual understanding: An approach drawing on individual and sociocultural perspectives. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 647-675). New York, London: Routledge.
- Lienert, G., & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse* [Test construction and test analysis]. Weinheim, Germany: Psychologie Verlags Union.
- Limón, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: A critical appraisal. *Learning and Instruction*, 11, 357-380.
- Limón, M., & Carretero, M. (1999). Conflicting data and conceptual change in history experts. In W. Schnotz, S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 137-159). Pergamon: Amsterdam.
- Lunetta, V. N. (1998). The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. In B. J. Fraser & K. J. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 249-262). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Mason, L. (2001). Responses to anomalous data and theory change. *Learning and Instruction*, 11, 453-483.
- Maxton-Küchenmeister, J. (2003). Genlabor & Schule – eine Übersicht über Experimentierangebote zur Vermittlung von Gen- und Biotechnologie an Schulen [Gene

technology lab & school – an overview about experimental offers for the mediation of gene technology and biotechnology at schools]. *BIOspectrum*, 4, 382-385.

Mbajjorgu, N. M., Ezechi, N. G., & Idoko, E. C. (2007). Addressing nonscientific presuppositions in genetics using a conceptual change strategy. *Science Education*, 91, 419-438.

Morrison, J. A., & Lederman, N. G. (2003). Science teachers' diagnosis and understanding of students' preconceptions. *Science Education*, 87, 849-867.

Murphy, P. K., & Mason, L. (2006). Changing knowledge and beliefs. In P. A. Alexander & P. Winne (Eds.), *Handbook of educational psychology* (pp. 305-324). New York: Erlbaum.

Novak, J. D., & Govin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Nussbaum, J., & Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11, 183-200.

Oser, F., & Baeriswyl, F. (2001): Choreographies of teaching: Bridging instruction to learning. In V. Richardson (Ed.), *Handbook of research on teaching*. (pp. 1031-1065). Washington: American Educational Research Association.

Palmer, D. H. (1999). Exploring the link between students' scientific and nonscientific conceptions. *Science Education*, 83, 639-653.

Pearsall, N. R., Skipper, J., & Mintzes, J. (1997). Knowledge restructuring in the life sciences: A longitudinal study of conceptual change in biology. *Science Education*, 81, 193-215.

Pintrich, P. R., Marx, R. W., & Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63, 167-199.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.

Pozo, J. I., Gomez, M. A., & Sanz, A. (1999). When change does not mean replacement: Different representations for different contexts. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 161–174). Amsterdam: Pergamon.

Säljö, R. (1999). Concepts, cognition and discourse. From mental structures to discursive tools. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 81-90). Amsterdam: Pergamon.

Scharfenberg, F.-J., Bogner, F. X., & Klautke, S. (2007). Learning in a gene technology lab with educational focus: Results of a teaching unit with authentic experiments. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 35, 28-39.

Scott, P., Asoko, H. & Driver, R. (1991). Teaching for conceptual change: A review of strategies. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 310-329). University of Kiel, Germany.

Spada, H. (1994). Conceptual change or multiple representations? *Learning and Instruction*, 4, 113-116.

Strike, K., & Posner, G. (1985). A conceptual change view of learning and understanding. In L. H. T. Pines & A. L. West (Eds.), *Cognitive structures and conceptual change* (pp. 211-232). Orlando, FL: Academic Press.

Tanner, K., & Allen, D. (2005). Approaches to biology teaching and learning: Understanding the wrong answers – Teaching toward conceptual change. *Cell Biology Education*, 4, 112-117.

Tesch, M., & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie [Experimentation in physics – results of a video-study]. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 51-69.

Tyson, L. M., Venville, G. J., Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1997). A multidimensional framework for interpreting conceptual change events in the classroom. *Science Education*, 81, 387-404.

- Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, *10*, 159-169.
- Treagust, D. F. & Duit, R. (2008). Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural studies of Science Education*, *3*, 297-328.
- Tsui, C.-Y., & Treagust, D. F. (2004). Conceptual change in learning genetics: an ontological perspective. *Research in Science & Technological Education*, *22*, 185–202.
- Tsui, C.-Y., & Treagust, D. F. (2007). Understanding genetics: Analysis of secondary students' conceptual status. *Journal of Research in Science Teaching*, *44*, 205-235.
- Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretative framework. *Journal of Research in Science Teaching*, *35*, 1031-1055.
- Vosniadou, S. (1999). Conceptual change research: State of the art and future directions. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 3-13). Amsterdam: Pergamon.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1999). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, *24*, 535-585.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., & Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, *11*, 381-419.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning: A project of the National Science Teachers Association* (pp. 177-210). New York: Macmillan.
- Weinert, F. E., Schrader, F.-W., & Helmke, A. (1989). Quality of instruction and achievement outcomes. *International Journal of Educational Research*, *13*, 895-914.

Yilmaz, S., Eryilmaz, A., & Geban, O. (2006). Assessing the impact of bridging analogies in mechanics. *School Science and Mathematics, 106*, 220-230.

Zembylas, M. (2005). Three perspectives on linking the cognitive and the emotional in science learning: Conceptual change, socio-constructivism and poststructuralism. *Studies in Science Education, 41*, 91-116.

Acknowledgement

The study was done in the Gene-technology Demonstration Laboratory of the University of Bayreuth. It was funded by the StUGV (Bavarian State Ministry of the Environment, Public Health and Consumer Protection), the StUK (Bavarian State Ministry of Education) and the DFG (German Science Foundation, BO 944/4-4). We are very thankful to F.-J. Scharfenberg and S. Tomkins for valuable discussion and for reading the text. Additionally, we are grateful to all the participating teachers and students involved in this study.

Appendix A

Appendix A

Median and 25. / 75. percentile of specialised scientific conception scores in the whole sample (G), both instruction groups and the control group (C) in the pre-test, post-test and delayed-post-test

Groups	Median (25. / 75. percentile)		
	Pre-test	Post-test	Delayed-post-test
C ($n = 72$)	3.00 (2.00 / 4.00)	--	3.00 (2.00 / 4.00)
G ($n = 294$)	4.00 (3.00 / 5.00)	5.00 (4.00 / 7.00)	5.00 (3.00 / 6.00)
I-1 ($n = 138$)	4.00 (3.00 / 5.00)	5.00 (4.00 / 6.00)	4.00 (3.00 / 6.00)
I-2 ($n = 156$)	5.00 (3.00 / 5.00)	6.00 (5.00 / 7.00)	5.00 (4.00 / 6.00)

Appendix B

Appendix B

Median and 25. / 75. percentile of specialist-knowledge-scores in the whole sample (G) and both instruction groups according to gender in the pre-test, post-test and delayed-post-test

Groups	Median (25. / 75. percentile)		
	Pre-test	Post-test	Delayed-post-test
G: Females ($n = 134$)	4.00 (3.00 / 5.00)	5.00 (4.00 / 6.00)	5.00 (3.00 / 6.00)
G: Males ($n = 160$)	5.00 (3.00 / 6.00)	6.00 (4.00 / 7.00)	5.00 (3.00 / 6.00)
I-1: Females ($n = 67$)	4.00 (3.00 / 5.00)	5.00 (4.00 / 6.00)	4.00 (3.00 / 6.00)
I-1: Males ($n = 71$)	4.00 (3.00 / 5.00)	5.00 (4.00 / 6.00)	4.00 (3.00 / 6.00)
I-2: Females ($n = 67$)	4.00 (3.00 / 5.00)	5.00 (4.00 / 7.00)	5.00 (4.00 / 6.00)
I-2: Males ($n = 89$)	5.00 (3.00 / 6.00)	6.00 (5.00 / 7.00)	5.00 (4.00 / 7.00)

Appendix C

Multiple-choice questionnaire about students' conceptions in gene technology

1. By bacterial genotype I understand ...

- bacteria in the human genotype.
- the inheritance of bacteria.
- the inheritance of illnesses.
- the genotype in bacterial cells.

2. By a gene I understand ...

- a quality, e.g., the colour of hair.
- a hereditary factor, e.g., for the colour of hair.
- a bacterium, that transfers qualities, e.g., the colour of hair.
- a cell, that contains hereditary factors, e.g., for the colour of hair.

3. By genetic engineering I understand ...

- the cloning of genes.
- the change and transference of genes.
- the change of qualities.
- the inheritance of genes.

4. By a clone I understand ...

- a paired identical copy of a living being.
- a person with identical signs.
- an animal with identical signs.
- an artificially made copy of a living being.

5. By an enzyme I understand a material, that ...

- is similar like a gene.
- releases a special illness.
- is similar like a hormone.
- releases a chemical reaction.

6. By inheritance of qualities I understand ...

- the passing on of acquired qualities to the children.
- the passing on of genetic information and with it qualities to the children.
- the passing on of behaviour patterns to the children.
- the passing on of illnesses.

7. By transference of genotype I understand ...

- the passing on of the male genotype with sexual intercourse.
- the passing on of qualities of the parents to the children.
- the fathering of children.
- the passing on of genotype to the daughters' cells during cell division.

8. By change of genotype I understand ...

- a process caused by external or internal influence.
- a damage of genotype.
- a natural process with the passing on of genotype to the children.
- a natural process during cell division.

7.3. Teilarbeit C

Franke, G., & Bogner, F. X.

Cognitive influences of students' alternative conceptions within a hands-on gene technology module

Journal of Educational Research (JER), in press (2010).

Running head: COGNITIVE INFLUENCES OF ALTERNATIVE CONCEPTIONS

Cognitive influences of students' alternative conceptions

within a hands-on gene technology module

Gaitano Franke and Franz X. Bogner

University of Bayreuth

Correspondence concerning this article should be addressed to Gaitano Franke, Department of Biology Didactics, University of Bayreuth, University Campus/ NW I, D-95447 Bayreuth, Germany. E-mail: Gaitano.Franke@uni-bayreuth.de. Tel. +49 (0)921 55-2593. Fax +49 (0)921 55-2696.

Abstract

In a German out-of-school laboratory, 293 medium achieving 10th graders participated in a lesson unit about gene technology. Divided into two groups (I-1, I-2), both of which followed the same hands-on lesson procedure. Students within I-2 were additionally confronted with alternative conceptions to central issues of the specific topic. We monitored cognitive achievement, mental effort and calculated the efficiency of instructional conditions.

Knowledge scores increased significantly in both groups in the long-term. In the short-term, I-2 showed significantly better results. Also, these students needed to invest a significantly lower level of mental effort during the interpretation phase. Instructional efficiency differed in the short- and the long-term. Students within I-2 showed either the same cognitive achievements with lower strain, or higher ones with the same strain.

Out-of-school laboratories in Germany and its evaluation

Until recently, about 200 out-of-school laboratories existed in Germany, founded by industry, research establishments and universities (Hillebrandt & Dähnhardt, 2005). These special laboratories are accessible to whole classes or groups of 20-30 students (on average) as well as their accompanying teachers. The visit of an out-of-school laboratory is voluntary for students and teachers. The latter decide whether their students will participate in the outreach offer. Every year about 300000 students visit these facilities in Germany, most of these students belonging to high schools, but even students from primary schools take advantage of the offer. However, many out-of-school laboratories concentrate primarily upon 9th to 13th graders (Hillebrandt & Dähnhardt, 2005). The lessons provided deal with natural sciences and technology, the majority of laboratories offering experiments mostly within the field of gene technology (Maxton-Küchenmeister, 2003). Nevertheless, the objectives of the lessons in all such out-of-school laboratories are similar: Students' interest in scientific subjects should be awakened, while a contemporary picture of the research is presented (Hillebrandt & Dähnhardt, 2005).

Following the mediocre German results in international studies such as TIMMS or PISA, which focused on students' achievements in various scientific fields, additional efforts are being made to improve the quality of scientific education in schools and a large number of outreach learning environments in the form of out-of-school laboratories have been initiated (Engeln & Euler, 2004). Studies have reported that German teachers mainly use experiments for illustration purposes in their lessons (e.g., Baumert & Köller, 2000; Tesch & Duit, 2004). On the other hand, the proportion of hands-on oriented lessons independently carried out by students has been shown to be rather low (e.g., Scharfenberg, Bogner & Klautke, 2007), mostly due to lack of equipment in the schools. Out-of-school laboratories try to reduce this deficit by offering experimental units where students perform hands-on activities (Engeln & Euler, 2004). By doing so, students are expected "to gain authentic and practical learning

experience beyond the conventional lessons” (Euler, 2001, p. 17). Hence, they are expected to acquire not only purely factual knowledge, but are maneuvered into a situation permitting understanding of this knowledge and its application for problem solving within the scope of their own experiments (Engeln & Euler, 2004). For Euler (2004), the traditional knowledge orientation in lessons was a principal reason for the poor performance of German students with TIMMS and PISA.

However, to date, valid and reliable psychometric studies have been scarce, although in principle rather easily controllable teaching-learning situations in out-of-school laboratories are possible. Most of the existing studies deal with variables such as interest and acceptance (e.g., Engeln & Euler, 2004; Glowinski, 2007; Scharfenberg, 2005). Although there are some studies comparing cognitive achievement in outreach learning sites such as museums with traditional classroom learning (e.g., Tenenbaum, Rappolt-Schlichtmann & Zanger, 2004), only one reliable study has dealt with knowledge acquisition in out-of-school laboratories (Scharfenberg et al., 2007). Scharfenberg et al. reported that 12th graders from the highest stratification level showed significantly higher cognitive achievement scores in a laboratory than another group receiving lessons in the usual classroom. A potential reason for the lack of studies about the effectiveness of working in out-of-school laboratories may lie in the opinion that “one can hardly expect effects in the cognitive area from a unique lab visit” (Engeln & Euler, 2004, p. 46).

Further studies compare cognitive achievement in hands-on lessons with the effects of traditional teacher-centered lessons, but with contradictory results: For instance, Randler and Hulde (2007) found that sixth graders scored significantly higher in a soil ecology lesson if hands-on experiments are provided. In contrast, Sturm and Bogner (2008) observed higher achievement scores for high-achieving students in teacher-centered lessons about bird flight than in a student-orientated approach.

Cognitive achievement and cognitive load in out-of-school laboratories

From a cognitive viewpoint “learning in terms of knowledge acquisition” can be seen as the “construction and the sequential modification of knowledge representations” (Steiner, 2001, p. 164). Constructivist theories are often used as a base for learning in experimental lessons. On the basis of personal experiences students form their own conceptions (Hofstein & Lunetta, 2004). On the basis of experimental experience at school or out-of-school, mental representations could be confirmed or disproved, adapted or developed anew. Experiments, but also observations or text-based information, can be placed in relation to previous knowledge. Only thus can new meanings be established. It is a cumulative and continuous process, which includes an assessment of the new knowledge acquired (Hodson, 1998). Tobin (1990) holds the following to be true for experimental lessons: “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” (p. 405).

Following a moderate constructivist understanding of learning (Gerstenmaier & Mandl, 1995), our incentive was to focus on achievement within the cognitive domain (cognitive achievement) in a hands-on teaching unit in an out-of-school laboratory. Additionally, we wanted to monitor the concurrent performance of a learner’s memory during the acquisition of knowledge (Scharfenberg, 2005). Hence cognitive load theory was suitable (Sweller, Merriënboer & Paas, 1998). Cognitive load has been defined as the mental activity of working memory, which has a limited capacity for information (Baddeley, 1992). Three different components of cognitive load need to be distinguished: (a) Intrinsic cognitive load (Chandler & Sweller, 1991) is the load caused by the content itself. Difficult learning material may contribute to it as well as the “extent to which the elements that constitute the information interact” (Sweller, 2003, p. 216). If elements can be learnt individually and be

understood, element interactivity is low, as is intrinsic cognitive load (Sweller et al., 1998). The extent of element interactivity depends on the existing cognitive schemata. (b) The second component of cognitive load deals with the lesson's style and is called extraneous cognitive load (Sweller et al.). It deals with the design and the organization of the learning material (Kalyuga, Chandler & Sweller, 1998). Removal of superfluous information and simple repetitions can reduce this specific load (Sweller et al.). (c) Germane cognitive load (Sweller et al.) as the third component is rooted in the development of cognitive schemata, which requires a part of working memory capacity (Schnotz & Kürschner, 2007). In instructional conditions, Sweller (2005) suggested reducing extraneous cognitive load in favor of germane cognitive load.

Cognitive load is primarily quantified using three measures: physiological, performance-based (dual-task methodology) and subjective ratings (Eggemeier, 1988). The latter was applied in this present study, quantifying subjective self-assessment on a rating scale evaluating perceived mental effort (e.g., Paas & Merriënboer, 1994), which quantifies "the total amount of controlled cognitive processing in which a subject is engaged" (Paas & Merriënboer, 1993, p. 738). Paas and Merriënboer (1993) developed a method to combine mental effort with cognitive achievement as performance measures.

In general, hands-on activities in laboratories coincide with high cognitive load (Johnstone & Wham, 1982). Besides this and other problems, Harlen (1999, p. 11ff) speaks of the "shortcomings of practical work". The large number of activities in an out-of-school laboratory (e.g., the reading of test instructions or manipulating equipment) lead to a high extraneous load (at least compared with a non-experimental approach) (Winberg & Berg, 2007). Within this context, the subject gene technology certainly embodies a high content complexity and a high cognitive demand "causing a corresponding high intrinsic load" (Scharfenberg et al., 2007, p. 36).

Hands-on lessons analyzed from a working memory load perspective

Conventional approaches to hands-on lessons follow similar schemata, as did our lessons: After a theoretical step (minds-on), students carry out an experiment independently in groups of three or four in the succeeding hands-on step. The minds-on step in which the background of the following experiment was discussed served to decrease the intrinsic load of the following hands-on step. While students already thought here about some expected results, additional working memory capacity need to be provided for germane and extraneous load. Therefore, the separation of steps of theory and practice was very important in preventing overload. Because all participating students were novices with little experimental experience, an introductory pre-lab phase was added to the teaching unit. This was intended to lower extraneous load in the hands-on steps which would otherwise increase, caused by the new working steps, such as manipulating equipment. The topic gene technology was expected to expose students to a high level of intrinsic load and to be further increased by the experimental activity. Our approach focuses on changing cognitive load by appealing to students' alternative conceptions. This at first may seem counter-productive, since additional working memory may be required by the explicit discussion of students' alternative conceptions. However, in this manner it is possible for students to discuss these alternative conceptions together with their teacher. After this, the scientific conception is presented. Due to the temporal separation of the theoretical and practical steps students might be able to process this discrepancy together before starting a new experiment. We expect that their load should rather decrease, because new knowledge (scientific conceptions) links successfully with previous knowledge (alternative conceptions). Therefore, the intrinsic cognitive load may be reduced in the following hands-on step by providing more capacity for germane load. If the teacher did not present different alternative conceptions in the lessons, the students might appeal their own conceptions simultaneously with the presentation of the scientific conception. As a result, students experience an internal conflict, which they would have to

process alone, because no joint debate takes place. If they do not succeed in this, students may transport this conflict into the following experimental step, resulting in a potential cognitive overload.

In connection with hands-on lessons within out-of-school laboratories, the effect of different instructional approaches (experimental hands-on versus theoretical non-experimental intervention groups) in different learning environments (laboratory versus classroom) on students' cognitive achievement has already been examined (Scharfenberg et al., 2007), similarly the effect of instructional change (experimental one-step approach versus experimental two-step approach) on cognitive achievement and cognitive load has been monitored (Scharfenberg & Bogner, in press). Both studies served to optimize experimental instruction in out-of-school laboratories and were coordinated on the target group of high achieving 12th graders. Building upon those experiences, our present study focused on the effect of additionally highlighting students' alternative conceptions: for instance, whether this may change cognitive load pattern and allow better cognitive achievement scores. Nevertheless, we did not set out to compare the effects of different learning environments. Additionally, since our target group consisted of medium achievers, we introduced only basic gene technology experiments in our lessons.

Regarding students' alternative conceptions

Since the 1970s, science educators have examined "alternative conceptions" (Driver & Easley, 1978) or "misconceptions" (Helm, 1980), which were regularly described as "robust and difficult to extinguish through teaching" (Vosniadou, 1999, p. 3). The latter ordinarily may differ substantially from scientific conceptions (e.g., Morrison & Lederman, 2003; Palmer, 1999; Treagust, 1988). Many studies surveyed alternative conceptions within various subject fields, including the area of genetics (e.g., Kattmann, Frerichs & Gluhodow, 2005; Lewis, Driver, Leach & Wood-Robinson, 1997; Lewis & Kattmann, 2004; Lewis, Leach & Wood-Robinson, 2000). For instance, Lewis et al. (2000) reported that English students aged

14-16 had a good understanding of the characteristics of a gene, but little awareness of its basic function and localization. To date, alternative conceptions about central concepts and processes of gene technology, such as “clone” or “change of genotype”, as we used in the present study have been examined only once (Franke, Scharfenberg & Bogner, submitted).

Knowledge of students’ alternative conceptions within various subject areas has often be shown to lead to a successful lesson (Duit, 2009). Furthermore, a consideration of alternative conceptions in lessons may provide an inalienable basis for conceptual change theory (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982).

Intervention studies concerning genetics

Intervention studies involving genetics have been frequent (e.g., Araz & Sungur, 2007; Dogru-Atay & Tekkaya, 2008; Duncan & Reiser, 2007; Johnson & Stewart, 2002; Marbach-Ad, Rotbain & Stavy, 2008; Mbajiorgu, Ezechi & Idoko, 2007; Tsui & Treagust, 2007; Venville & Treagust, 1998). For instance, Tsui and Treagust (2007) reported that most of the participating students in grades 10 and 12 improved their understanding of genetics in the development of genetic reasoning when teachers included computer multimedia in their classroom teaching. Marbach-Ad et al. (2008) found that 11th and 12th graders who participated in a computer experimental group showed better results in a molecular genetics test than the control group. Nevertheless, to our knowledge no scientific study has been undertaken on the topic of this present study: teaching gene technology in an out-of-school laboratory while confronting students with their own alternative conceptions.

Research questions and hypotheses

Consequently, we focused on three questions: (a) Does confrontation with students’ alternative conceptions produce a higher cognitive achievement score in comparison with students exposed to a non-confrontational lesson? (b) Does confrontation with alternative conceptions change students’ mental effort? (c) Are there differences in instructional efficiency between the two teaching forms?

We hypothesized that the inclusion of students' alternative conceptions: (a) promotes cognitive achievement and (b) leads to a change in mental effort and instructional efficiency.

Methods

The participants

A total of 293 secondary school students (159 boys, 134 girls) from eleven classes participated in our study. They came from medium achieving 10th grades (Realschule, Bavaria). They had an average age of 16.10 years ($SD = 0.76$) and were all comparable in age and average level of performance in science. Gene technology was a completely new subject for all participants. However, all students had learnt basic genetics for about one term as specified in the official Bavarian syllabus (Bavarian State Ministry of Education, 2001). In the 10th grade, all students received biology lessons as two 45-min periods per week.

The teaching unit about gene technology

Our gene technology teaching unit corresponded to the official syllabus by concentrating on eight learning goals: (a) ability to carry out gene technology experiments in small groups, (b) overview of the principles of gene technology, (c) overview of how restriction enzymes work, (d) overview of the processes of the recombination of a plasmid, (e) establish knowledge about the transformation of bacteria, (f) overview of the meaning of inoculation of bacteria samples on agar plates, (g) ability to evaluate the results of the inoculation and (h) disposition to discuss ethical aspects of the production of transgenic organisms. The unit took place in an out-of-school laboratory, due to limitations in the possibility of hands-on work at school. The lessons consisted of a 60-min pre-lab phase and a 300-min experimental-laboratory phase. In the pre-lab phase, the students were gradually made familiar with the basic operations of their working place, such as the correct use of a micro-pipette or sterile working. This phase is necessary to permit safe execution of the subsequent experimental-laboratory phase (Dunn & Boud, 1986; Lunetta, 1998). In the experimental-laboratory phase, four experiments of gene technology were performed: (a)

enzymatic restriction of plasmidic DNA with two selected enzymes, (b) ligation of DNA, (c) transformation of bacteria with recombinant plasmids and (d) inoculation of the bacterial samples on agar plates. The experiments were organized in the conventional approach of hands-on lessons (e.g., Dunn & Boud, 1986): After a theoretical (minds-on) step, in which the background of the experiments was discussed, in a following hands-on step one of the above experiments was carried out independently by the students in groups of three or four. At the end of the teaching unit there was an interpretation phase, in which the students discussed the results of their experiments in light of their theoretical knowledge. The lessons can therefore be divided into ten steps: pre-lab phase, 1st theoretical step, 1st experimental step, 2nd theoretical step, (...), 4th experimental step, interpretation phase (see Table 1).

Table 1

Schedule of an out-of-school laboratory lesson

Step number	Step name	Step description
1	Pre-lab phase	Introduction to basic operations at the working place
2	1st Theoretical step	The relevance of gene technology is exemplarily shown by the bacterial production of insulin; Over the course of time conceptions about the concept “gene”, the process “inheritance of characters”, the concept “genetic engineering”, the process “transfer of genes” and the concept “enzyme” were presented; Discussion about the following experiment
3	1st Experimental step	Enzymatic restriction of plasmidic DNA (<i>pUCD</i>) with two selected enzymes
4	2nd Theoretical step	Other examples of medical uses of gene technology were presented in connection with a discussion of

		ethical aspects;
		Discussion about the following experiment
5	2nd Experimental step	Ligation of DNA (restricted <i>pUCD</i> and <i>lacZ</i> -gene)
6	3rd Theoretical step	Discussion about the following experiment
7	3rd Experimental step	Transformation of <i>E. coli</i> bacteria with recombinant plasmids (<i>pUCD-lacZ</i>)
8	4th Theoretical step	Presentation of conceptions about the concept “clone” and the process “inheritance of characters”; Discussion about the following experiment
9	4th Experimental step	Inoculation of the bacterial samples on agar plates
10	Interpretation phase	Results were discussed by students using their acquired knowledge

The research design

The study was constructed as a quasi-experimental design (see Table 2). The students were split into two instruction groups (I-1 and I-2). A control group (C; $n = 75$) with no instruction was included. The latter permitted the exclusion of any potential pre-test effect, repeated test bias or other potential external influences (Lienert & Raatz, 1998). All groups except the control group received the experimental laboratory lessons described above in which scientific perceptions about central concepts and processes of gene technology were presented. In addition, instruction group I-2 was confronted with students' alternative conceptions about these concepts/processes (see Appendix A). For each concept/process the teacher presented three frequent alternative conceptions: These were tackled prior to participation in five classes by using an open questionnaire (see Appendix B).

Table 2

Design of the quasi-experimental study

Pre-test (T-1)			
One week			
Groups	Instruction group 1 (I-1)	Instruction group 2 (I-2)	Control group (C)
60 min	Pre-lab phase	Pre-lab phase	--
300 min	Experimental-lab lesson (without confrontation with students' alternative conceptions)	Experimental-lab lesson (with confrontation with students' alternative conceptions)	--
Post-test (T-2)			--
Six weeks			
Delayed-post-test (T-3)			

The presentation of these conceptions in the lessons was realized on the basis of a modified “constructivist teaching sequence” (Driver, 1989). In the center of this method is an engagement with alternative conceptions in order to induce a cognitive conflict. Students were confronted with different alternative conceptions of about eight concepts/processes of gene technology during the lessons, such as “clone” or “change of genotype”. To each concept/process three alternative conceptions were presented by the teacher. In Table 3 we show a sample of the presented scientific and alternative conceptions about the concept “clone”, provided to the students within I-2: The complete list of applied conceptions can be found in Appendix A. To prompt cognitive conflict, within a “Powerpoint”-presentation the teacher presented specific pictures to make the students realize, that these alternative conceptions were not logical or do not explain the complete spectrum of the respective concept/process. Afterwards, the scientific view was presented by the teacher. To convince

the students of the validity of the scientific perception, in a subsequent experimental situation the new knowledge was used.

Table 3

Example of the presented conceptions about the concept “clone” in the lessons about gene technology within the two instruction groups

Alternative conceptions (only within I-2)	Scientific conception (within I-1 and I-2)
1. Only a person with identical signs	A paled identical copy of a living being
2. Only an animal with identical signs	
3. Only an artificially made copy of a living being	

In order to avoid any bias attributable to the teacher as a person (a factor known to relate strongly to any learning and achievement; Pintrich, Marx & Boyle, 1993), we decided to rely on one single researcher to provide all the instructions, who was previously unknown to our students.

The measures

For the present study, we used three different measures: (a) Students' cognitive achievement was measured at three times in a pre-test, post-test and delayed-post-test, (b) mental effort was self-estimated by the students exclusively during the lessons, at the end of each step of the lesson and (c) instructional efficiency was calculated afterwards by combining the results of (a) and (b).

Cognitive achievement. A cognitive achievement questionnaire comprising 15 multiple-choice questions dealing with gene technology issues taught in the lessons was applied. In Appendix C we present three test items for demonstration purposes. Each instruction group responded three times to the identical knowledge tests. To eliminate

potential bias, the order of single questions and the order of the four possible multiple choice answers per question were randomly changed. Additionally, students were unaware before test administration of any testing schedule or of any repeated testing (Bogner, 1998). The pre-test (T-1) was conducted one week before the intervention. It served to test previously existing knowledge about gene technology. Immediately after their participation in the gene technology lessons, all the students completed a post-test (T-2). Finally, six weeks after the post-test, the students completed a delayed-post-test (T-3) to determine the amount of persistent knowledge (Bogner, 1998). The control group attended only the pre- and the delayed-post testing sessions within the same six-week time frame without being given any instructions on the topic of gene technology.

“Statistical Package for Social Sciences 15.0” (SPSS 15.0) was used for statistical analysis. To conduct statistical computations of the multiple choice questions, correct answers were rated one, and incorrect ones zero. Reliability analyses employing Cronbach’s α produced $\alpha_{\text{pre}} = .43$, $\alpha_{\text{post}} = .63$ and $\alpha_{\text{delayed-post}} = .51$. Lienert and Raatz (1998) discussed reliability analyses in knowledge tests as always difficult due to their ad-hoc character, although reliability coefficients less than .60 still allow differentiating groups, especially in knowledge achievement tests, in this case of I-1 and I-2. The range of item difficulty (= % of correct answers; Bortz & Döring, 2001) was normally distributed over all the test schedules, Shapiro–Wilk ($p_{\text{pre}} = .42$; $p_{\text{post}} = .99$; $p_{\text{delayed-post}} = .49$). The percentage of correct answers per item (p-value) ranged from 13.30% to 94.90% (pre-test: $M = 41.20\%$, $SD = 13.40$; post-test: $M = 56.40\%$, $SD = 21.90$; delayed-post-test: $M = 47.60\%$, $SD = 15.20$).

Syllabus consistency provided appropriate content validity; all items followed the learning goals of our intervention, thus providing criterion validity. Both content and criterion validity were additionally confirmed by expert rating. We used non-parametric tests for statistical evaluation, because the sum scores of all three cognitive achievement tests were

non-normally distributed as shown by a significant Kolmogorov-Smirnov-Test with Lilliefors Significance Correction ($p < .001$ in T-1, T-2 and T-3).

Mental effort. Mental effort as an adapted measure of cognitive load during task performance (online, e.g., van Gog & Paas, 2008) was monitored during the gene technology lesson for each of the ten steps of the lessons (see Table 1). Mental effort was self-estimated by the students at the end of each step using a uni-dimensional nine-digit rating scale (Paas, Merriënboer & Adam, 1994) (Wording of the question for each step: “By looking back at the last step, please estimate your mental effort on a scale from 1-9: 1 = very easy to 9 = very difficult!”). The latter is a widely used method that has already proven valid and sensitive (Ayres, 2006). It is an appropriate method for our intervention, since other methods like the dual task method (see above) could not be applied due to practical and organizational reasons. Reliability analyses yielded Cronbach’s $\alpha = .93$. We calculated a median score for the mental effort for the four lesson phases (pre-lab phase [step 1, see Table 1], theoretical phase [step 2, 4, 6 and 8], experimental phase [step 3, 5, 7 and 9] and interpretation phase [step 10]).

Instructional efficiency. Instructional efficiency (Paas & Merriënboer, 1993) was calculated by combining performance measures (achievement test scores in T-2 and T-3) with the mental effort scores at every phase of the lesson. Again, the adapted form was used (van Gog & Paas, 2008). We pointed to two potential effects which Paas, Tuovinen, Tabbers, and van Gerven (2003) argued as essential when comparing the efficiency of different instructions: (a) a similar effort induces different performance; (b) a different effort leads to similar performance. To obtain efficiency scores, the raw scores for mental effort and cognitive achievement test are standardized to z scores and displayed in two orthogonal axes. Afterwards, E can be calculated “as the perpendicular distance to the line that is assumed to represent an efficiency of zero” (Paas & Merriënboer, 1993, p. 737). Therefore the formula for this distance is $E = |R - P| / \sqrt{2}$ (R = mental effort, P = performance).

Effect size (γ^*) was calculated as a non-parametric estimator of effect size in the case of significant differences (Hedges & Olkin, 1984). According to Kampenes, Dybå, Hannay, and Sjøberg (2007), γ^* values between 0.20 and 0.50 were interpreted as small to medium effects, and values between 0.50 and 0.80 as medium to large effects.

Results

The knowledge scores differed in the group as a whole (G) across all measurement times when comparing two or more dependent random samples, $\chi^2(2, N = 293) = 99.00, p < .001$. The knowledge score increased in both instruction groups from T-1 to T-2 and decreased again from T-2 to T-3 (see Figure 1, Table 4). The lines within the boxes of the boxplots in Figure 1 mark the median scores, the numeric median scores are shown in Appendix D. As hypothesized, there were no statistically significant differences in knowledge scores for the control group between test times (T-1 and T-3).

Figure 1. Changes in overall knowledge scores in the two instruction groups over all test schedules; C = control group; I-1 = instruction group without confrontation; I-2 = instruction group with confrontation

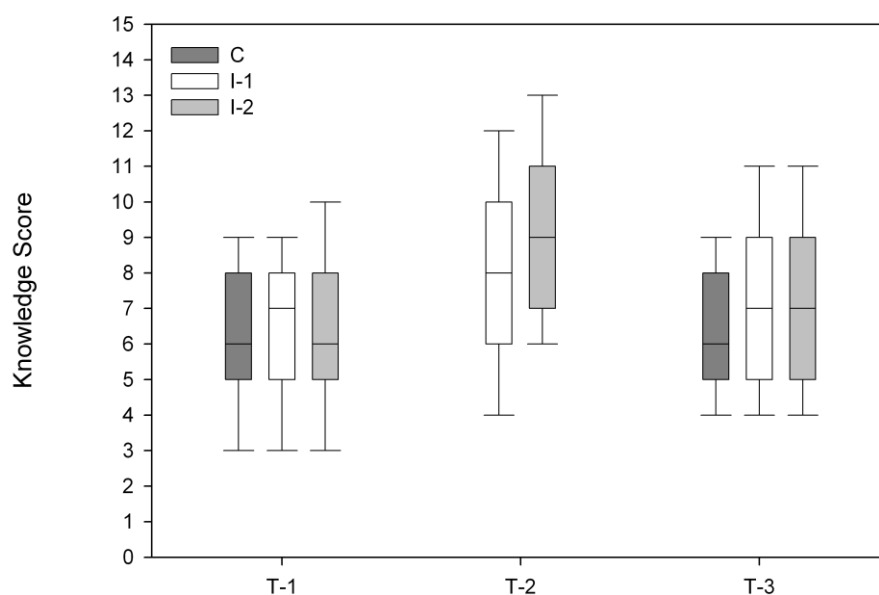


Table 4

In-group comparison of knowledge scores (Wilcoxon-Test)

Groups	Pre-test vs. Post-test		Post-test vs. Delayed-post-test		Pre-test vs. Delayed-post-test	
	Z	p	Z	p	Z	p
C ($n = 75$)	/^a	/^a	/^a	/^a	-0.08	.94
G ^b ($N = 293$)	-10.02	< .001	-8.11	< .001	-3.62	< .001
I-1 ($n = 137$)	-4.99	< .001	-3.69	< .001	-2.01	.04
I-2 ($n = 156$)	-8.77	< .001	-7.47	< .001	-3.58	< .001

Note: ^a not monitored, ^b group as a whole

As expected, there were no statistical significant differences in the pre-test concerning knowledge scores between the two instruction groups, Mann-Whitney U Test ($Z = -0.68$, $p = .50$, two-tailed). In the post-test, a clear difference appeared between I-1 and I-2, γ^* value of 0.50 as a non-parametric estimator of effect size showed a medium to large effect. However, in the long-term (delayed-post-test) this effect disappeared (see Table 5). Regarding the knowledge scores, the control group did not differ significantly from either instruction group in the pre-test, Mann-Whitney U Test ($p > .50$), though they did in the delayed-post-test, Mann-Whitney U Test (C vs. I-1: $Z = -2.01$, $p = .04$, two-tailed; C vs. I-2: $Z = -2.49$, $p = .01$, two-tailed).

Table 5

Between-groups comparison of knowledge in the post-test and delayed-post-test (I-1 vs. I-2^a; Mann-Whitney U Test)

Test	Z	p
Post-test	-3.20	< .001 ^b
Delayed-post-test	-0.74	.46

Note: ^a $n_{I-1} = 137$, $n_{I-2} = 156$; ^b $\gamma^* = 0.50$

The comparison of the mental effort scores of both instruction groups in the four partial phases of the laboratory lessons (pre-lab, theoretical, experimental, interpretation) showed statistically significant differences only in the interpretation phase between I-1 and I-2, the γ^* value of -0.21 reflecting a small to medium effect (see Figure 2, Table 6, Appendix E).

Figure 2. Comparison of the mental effort scores of the two instruction groups in the four phases; I-1 = instruction group without confrontation; I-2 = instruction group with confrontation

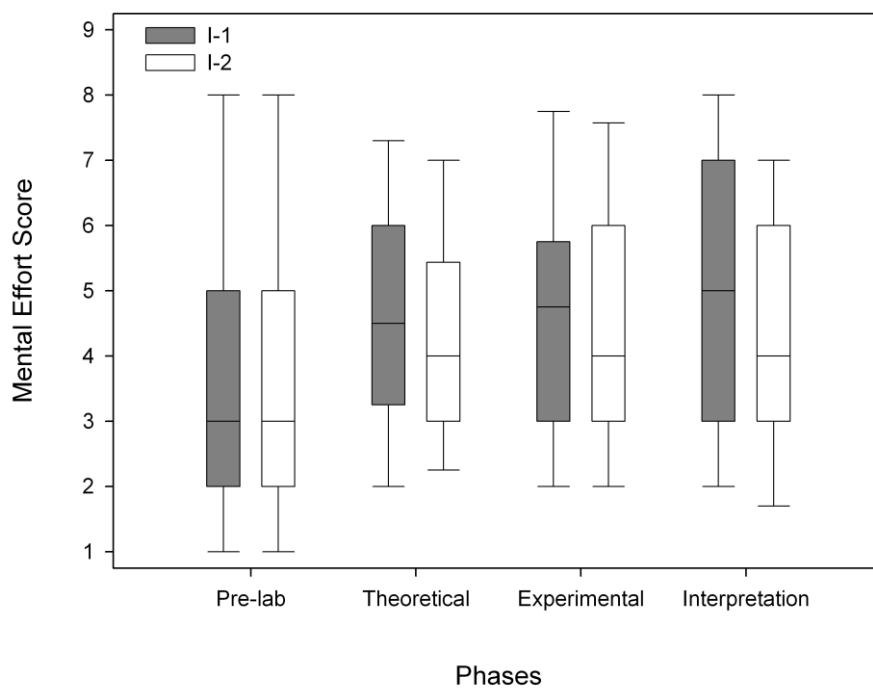


Table 6

Between-groups comparison of mental effort scores (I-1 vs. I-2^a; Mann–Whitney U Test)

Phases	Z	p
Pre-lab phase	-0.54	.59
Theoretical phase	-1.03	.30
Experimental phase	-0.97	.34
Interpretation phase	-2.00	.05 ^b

Note: ^a $n_{I-1} = 137$, $n_{I-2} = 156$; ^b $\gamma^* = -0.21$

Regarding instructional efficiency scores, a significant change in the experimental and interpretation phases was detected within I-2 in the post-test (T-2). In the long-term, instructional efficiency changed significantly in I-2 only with regard to the interpretation phase. All effects sizes showed a small to medium effect (see Table 7, Appendix F).

Table 7

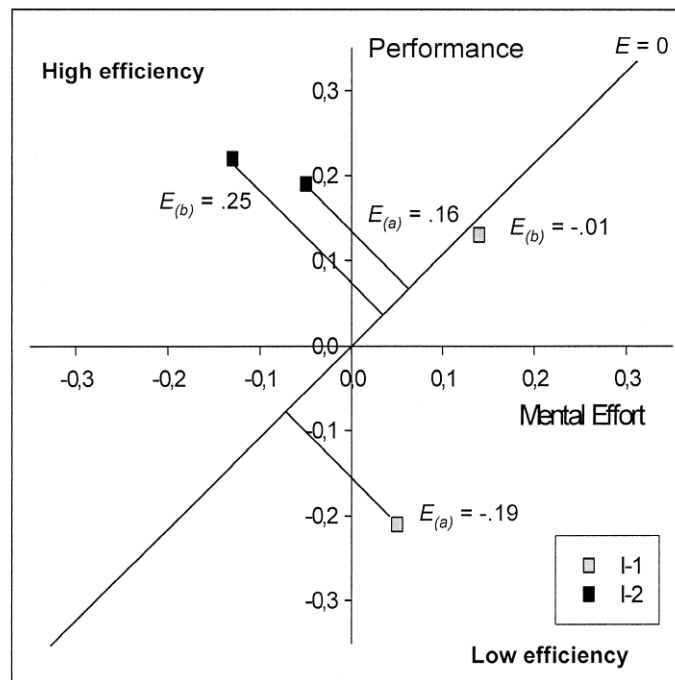
Between-groups comparison of instructional efficiency in the experimental and interpretation phase according to the post-test and delayed-post-test (I-1 vs. I-2^a; Mann–Whitney U Test)

Phases	Post-test		Delayed-post-test	
	Z	p	Z	p
Experimental phase	-2.75	.01 ^b	-1.42	.16
Interpretation phase	-3.60	< .001 ^c	-2.03	.04 ^d

Note: ^a $n_{I-1} = 137$, $n_{I-2} = 156$; ^b $\gamma^* = 0.33$; ^c $\gamma^* = 0.47$; ^d $\gamma^* = 0.36$

We found the expected outcomes as described in the methods-section above. We observed, for instance, (a) a higher performance in the post-test at steady mental effort in the experimental phase ($E_{I-1} = -.19$ to $E_{I-2} = .16$) or (b) a similar performance in the delayed-post-test at lowered mental effort in the interpretation phase ($E_{I-1} = -.01$ to $E_{I-2} = .25$, see Figure 3).

Figure 3. Inter-group comparison of instructional efficiency (E) in the experimental phase according to the post-test (a) and in the interpretation phase according to the delayed-post-test (b)



Discussion

Both instructional groups showed a significant increase of knowledge in the short-term. As hypothesized, appealing in addition to students' alternative conceptions turned out to be very effective (medium to high effect). A possible explanation could be an increased motivation when one's own conceptions in a lesson are specifically considered. This again affects the learning achievements positively. Another reason could lie in the cognitive load of the students (see below). The results of the group as a whole as well as both instruction groups coincide with those of another study (Scharfenberg et al., 2007), in which different instructional approaches were compared. In the latter, the hands-on group reached significantly higher cognitive achievement scores in the laboratory lessons from T-1 to T-2. As in our study, a decrease of knowledge from T-2 to T-3 has to be noted. A reason for this

may be the development and knowledge difference of both groups of students: students from the comparative study belonged to the highest stratification level and visited A-level biology courses. Students in the present study came from a medium stratification level and were on average about two years younger. They attended regular classes and received before and during the whole test period no other lessons on gene technology. Scharfenberg (2005) explains the generally high decrease rate by the additional high extraneous cognitive load in the experimental situation. This leads to a decrease of capacity for germane load. In addition, due to the expected high intrinsic cognitive load caused by the lack of previous knowledge of the students, cognitive load is raised again. The above-mentioned “shortcomings of practical work” (Harlen, 1999, p. 11ff) have proved to be true regarding the decrease rate in the contents of the lessons in the outreach laboratory. An explanation for the missing statistically significant differences in knowledge scores between both intervention groups in the delayed-post-test may be caused by “resistances against change to science conceptions” (Duit, 1999, p. 266) in I-2. In the long-term, alternative conceptions were enforced again. Vosniadou (1999) called those deep-rooted conceptions “entrenched” (p. 12).

With regard to possible limitations of the measurement of cognitive achievement, we have to point out that we only employed a paper and pencil test. In our lessons, students acquired also practical skills, which we cannot examine with such a test. Unfortunately, a practical test was not applicable in such a teaching situation.

Regarding mental effort, differences between the groups initially appeared relatively low. Only in the interpretation phase did it appear slightly higher – relative to the effect strength – it was, however, a statistically significant difference. Only in this phase, in which a general view of the teaching material and the connection of the different information should be imparted, does a higher cognitive load appear for students from I-1. Appealing to students’ alternative conceptions already led to a reduction of cognitive load. This was eventually followed by better cognitive achievement scores. As already mentioned, a high intrinsic

cognitive load caused by content complexity has to be expected in both instruction groups. In addition, the experimental requirements led to an increase of extraneous cognitive load. Now, the question is why appealing to students' alternative conceptions and a confrontation with specialized scientific conceptions did not increase the cognitive load in I-2 further, but even decreased it. Firstly, these confrontation lessons possibly led to a short-term rise of intrinsic cognitive load. However, after processing the new information (specialized scientific conceptions) by linking it with already existing images (alternative conceptions) the intrinsic cognitive load seemed to be reduced. This effect was only recognized in the last, very important phase of the lessons.

Methodologically, the self-rating measurement of mental effort has sometimes been criticized as being invalid for assessing cognitive load: Individual differences in mental effort ratings may "play a significant role" (Whelan, 2007, p. 4): Therefore, we anchored the mid-point of the scale by linking it to the typical effort necessary in lessons at school.

The differences between the two instruction groups become even more clear when we examine instructional efficiency: Besides success in the experimental and interpretation phase in the short-term, a change in instructional efficiency was observed for I-2, in each case as a medium effect size. Students whose alternative conceptions were required in the lessons also point to either the same cognitive achievements with lower strain, or higher ones with the same strain. The latter is explained by Paas et al. (2003) as better learning of the content. We are aware of the potential limitations of the adapted form of instructional efficiency (van Gog & Paas, 2008), but this approach did not comply the restricted ones.

Conclusions

Our study results highly recommend the out-of-school laboratory as a learning place: besides being an independent realization of experiments, which are impossible in a classroom at school for various reasons, by providing the experience of the authenticity in a laboratory (e.g., Scharfenberg, 2005), such a visit allows a clear knowledge increase. This can be

registered in the long-term as well, if the laboratory lessons were post-prepared later at school, although this does not often occur (e.g., Engeln & Euler, 2004). Should the scientific conception be set up in the long-term, repeated confrontations are necessary. Nevertheless, this plan presents some difficulty for a school's everyday life and lessons. A suitable possibility could be the strengthening of the arrangement of lessons in a spiral curriculum (Bruner, 1960), where teaching in subsequent classes is repeated with other aspects added. In this manner, it would be possible for the teacher to explain the teaching material and discuss students' alternative conceptions in different developmental stages. At the same time, a more intense employment of the underlying phenomenon may take place.

In spite of these problems, such as the high cognitive load, many students obviously enjoy a one-day laboratory experience (Engeln & Euler, 2004) and go home with many new experiences as well as newly acquired professional working techniques. It additionally lowers cognitive load (Scharfenberg & Bogner, in press).

Furthermore, it has turned out more than clearly that a consideration of students' alternative conceptions in a lesson pays off in multiple regard: students' cognitive achievements can be increased while mental effort as well as instructional efficiency can be changed in comparison with those students who were not confronted in the lessons with their own alternative conceptions.

Moreover, the consideration of students' alternative conceptions may also provide a better basis for conceptual change. Of course, they have to be grasped in advance and that is a science educationists' job, not a teachers' job, for a variety of reasons. Subsequently, the latter are called on to insert the results sensibly into their lessons and to correct the inadequacy of the alternative conceptions of their students.

References

- Araz, G., & Sungur, S. (2007). Effectiveness of problem-based learning on academic performance in genetics. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 35, 448-451.
- Ayres, P. (2006). Using subjective measures to detect variations of intrinsic cognitive load within problems. *Learning and Instruction*, 16, 389-400.
- Baddeley, A. (1992). Working Memory. *Science*, 255, 556-559.
- Baumert, J., & Köller, O. (2000). Unterrichtsgestaltung, verständnisvolles Lernen und multiple Zielerreichung im Mathematik- und Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe [Instructional patterns, insightful learning and achieved literacy in upper secondary mathematics and physics instruction]. In J. Baumert, W. Bos, & R. Lehmann (Eds.), *TIMSS/III Dritte internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie – Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn, Bd. 2: Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe* (pp. 271-315). Opladen, Germany: Leske + Buderich.
- Bavarian State Ministry of Education (2001). *Lehrplan für die sechsstufige Realschule, Fachlehrpläne Biologie* [Syllabus for the six-stage secondary school. Biology syllabus]. München, Germany: Verlag J. Maiß.
- Bogner, F. X. (1998). The influence of short-term outdoor ecology education on long-term variables of environmental perspectives. *Journal of Environmental Education*, 29, 17-29.
- Bortz, J., & Döring, N. (2001). *Forschungsmethoden und Evaluation* [Research methods and evaluation]. Berlin, Germany: Springer.
- Bruner, J. S. (1960). *The process of education*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.
- Diehl, J. M., & Staufenbiel, T. (2002). *Statistik mit SPSS* [Statistics with SPSS]. Eschborn, Germany: Dietmar Klotz.
- Dogru-Atay, P., & Tekkaya, C. (2008). Promoting students' learning in genetics with the learning cycle. *The Journal of Experimental Education*, 76, 259-280.
- Driver, R. (1989). Changing conceptions. In P. Adey, J. Bliss, J. Head, & M. Shayer (Eds.), *Adolescent development and school science* (pp. 79-104). New York: The Falmer Press.
- Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 263-282). Amsterdam: Pergamon.
- Duit, R. (2009). *Bibliography STCSE: Students' and teachers' conceptions and science education*. Kiel, Germany: IPN – Leibniz Institute for Science Education (<http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>)
- Duncan, R. G., & Reiser, B. J. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: Students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, 938-959.
- Dunn, J., & Boud, D. (1986). Sequencing and organization. In D. Boud, J. Dunn & E. Hegarty-Hazel (Eds.), *Teaching in laboratories*. Exeter, UK: NFER- Nelson.
- Eggemeier, F. T. (1988). Properties of workload assessment techniques. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human and mental workload* (p. 41-62). Amsterdam: Elsevier.

- Engeln, K., & Euler, M. (2004). *Forschen statt Pauken. Aktives Lernen im Schülerlabor* [Researching instead of cramming. Active learning in an out-of-school laboratory]. *Physik Journal*, 3, 45-48.
- Euler, M. (2001). Lernen durch Experimentieren [Learning by experimentation]. In U. Ringelband, M. Prenzel, & M. Euler (Eds.), *Lernort Labor – Initiativen zur naturwissenschaftlichen Bildung zwischen Schule, Forschung u. Wirtschaft* (pp. 13-42). Kiel, Germany: IPN – Leibniz Institute for Science Education.
- Euler, M. (2004). The role of experiments in the teaching and learning of physics. In E. F. Redish & M. Vicentini (Eds.), *Proceedings of the International School of Physics “Enrico Fermi”, Course CLVI, Research on Physics Education* (pp. 175-221). Amsterdam: IOS Press.
- Gerstenmaier, J., & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive [Knowledge acquisition under a constructivist perspective]. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41, 867–888.
- Glowinski, I. (2007). *Schülerlabore im Bereich Molekularbiologie als Interesse fördernde Lernumgebungen* [Out-of-school laboratories in the area of molecular biology as interest-supporting learning environments]. Doctoral dissertation, University of Kiel, Germany, 2007.
- Harlen, W. (1999). *Effective teaching of science. A review of research*. Edinburgh, UK: The Scottish Council for Research in Education.
- Hedges, L. V., & Olkin, I. (1984). Nonparametric estimators of effect size in meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 96, 573-580.
- Helm, H. (1980). Misconceptions in physics amongst South African students. *Physics Education*, 15, 92–105.
- Hillebrandt, D., & Dähnhardt, D. (2005). Forschend lernen – Schülerlabore in Deutschland [Learning by research – out-of-school laboratories in Germany]. *TheoPrax*, 1, 20-23.

- Hodson, D. (1998). Teaching and learning science. Towards a personalized approach. Buckingham, PA: Open University Press.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*, 88, 28-54.
- Johnson, S. K., & Stewart, J. (2002). Revising and assessing explanatory models in a high school genetics class: A comparison of unsuccessful and successful performance. *Science Education*, 86, 463-480.
- Johnstone, A. H., & Wham, A. J. B. (1982). The demands of practical work. *Education in Chemistry*, 19, 71-73.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1998). Levels of expertise and instructional design. *Human Factors*, 40, 1-17.
- Kampenes, V. B., Dybå, T., Hannay, J. E., & Sjøberg, D. I. K. (2007). A systematic review of effect size in software engineering experiments. *Software Engineering, IEEE Transactions on*, 33, 87-107.
- Kattmann, U., Frerichs V., & Gluhodedow, M. (2005). Gene sind charakterlos [Genes do not have a character]. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 58, 324-330.
- Lewis, J. M., Driver, R., Leach, J. T., & Wood-Robinson, C. (1997). *Working paper 2 - understanding of basic genetics and DNA technology; the young people's understanding of, and attitudes to, the new genetics' project*. Leeds, UK: University of Leeds.
- Lewis, J., & Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26, 195-206.
- Lewis, J. M., Leach, J. T., & Wood-Robinson, C. (2000). All in the genes? - young people's understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education*, 34, 74-79.

- Lienert, G., & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse* [Test construction and test analysis]. Weinheim, Germany: Psychologie Verlags Union.
- Lunetta, V. N. (1998). The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. In B. J. Fraser & K. J. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 249-262). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Marbach-Ad, G., Rotbain, Y., & Stavy, R. (2008). Using computer animation and illustration activities to improve high school students' achievements in molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, 273-292.
- Maxton-Küchenmeister, J. (2003). Genlabor & Schule – eine Übersicht über Experimentierangebote zur Vermittlung von Gen- und Biotechnologie an Schulen [Gene technology lab & school – an overview about experimental offers for the mediation of gene technology and biotechnology at schools]. *BIOspectrum*, 4, 382-385.
- Mbajiorgu, N. M., Ezechi, N. G., & Idoko, E. C. (2007). Addressing nonscientific presuppositions in genetics using a conceptual change strategy. *Science Education*, 91, 419-438.
- Morrison, J. A., & Lederman, N. G. (2003). Science teachers' diagnosis and understanding of students' preconceptions. *Science Education*, 87, 849-867.
- Novak, J. D., & Govin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental-effort and performance measures. *Human Factors*, 35, 737-743.

- Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86, 122-133.
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H. K., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38, 63–71.
- Paas, F., Van Merriënboer J. J. G., & Adam, J. J. (1994). Measurement of cognitive-load in instructional research. *Perceptual and Motor Skills*, 79, 419-430.
- Palmer, D. H. (1999). Exploring the link between students' scientific and nonscientific conceptions. *Science Education*, 83, 639-653.
- Pintrich, P. R., Marx, R. W., & Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63, 167–199.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Randler, C., & Hulde, M. (2007). Hands-on versus teacher-centred experiments in soil ecology. *Research in Science & Technological Education*, 25, 329-338.
- Scharfenberg, F.-J. (2005). *Experimenteller Biologieunterricht zu Aspekten der Gentechnik im Lernort Labor: empirische Untersuchung zu Akzeptanz, Wissenserwerb und Interesse* [Experimental biology lessons about aspects of gene technology in an out-of-school laboratory: empirical investigation of acceptance, knowledge acquisition and interest]. Doctoral dissertation, University of Bayreuth, Germany, 2005.
- Scharfenberg, F.-J., & Bogner, F. X. (in press). Instructional efficiency of changing cognitive load in an out-of-school laboratory. *International Journal of Science Education*.

- Scharfenberg, F.-J., Bogner, F. X., & Klautke, S. (2007). Learning in a gene technology lab with educational focus: Results of a teaching unit with authentic experiments. *Biochemistry and Molecular Biology Education, 35*, 28-39.
- Schnotz, W., & Kürschner, C. (2007). A reconsideration of cognitive load theory. *Educational Psychology Review, 19*, 469–508.
- Steiner, G. (2001). Lernen und Wissenserwerb [Learning and knowledge acquisition]. In A. Krapp, & B. Weidemann (Eds.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (pp. 137-205). Weinheim, Germany: Beltz.
- Sturm, H., & Bogner, F. X. (2008). Student-oriented versus teacher-centred: The effect of learning at workstations about birds and bird flight on cognitive achievement and motivation. *International Journal of Science Education, 30*, 941-959.
- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. *The Psychology of Learning and Motivation, 43*, 215-266.
- Sweller, J. (2005). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 19-30). New York: Cambridge University Press.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review, 10*, 251-296.
- Tenenbaum, H. R., Rappolt-Schlichtmann, G., & Zanger, V. V. (2004). Children's learning about water in a museum and in the classroom. *Early Childhood Research Quarterly, 19*, 40-58.
- Tesch, M., & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie [Experimentation in physics – results of a video-study]. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 10*, 51-69.
- Tobin, K. (1990). Research on science laboratory activities: In pursuit of better questions and answers to improve learning. *School Science and Mathematics, 90*, 403-418.

- Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, *10*, 159-169.
- Tsui, C.-Y., & Treagust, D. F. (2004). Conceptual change in learning genetics: an ontological perspective. *Research in Science & Technological Education*, *22*, 185–202.
- Van Gog, T., & Paas, F. (2008). Instructional efficiency: Revisiting the original construct in educational research. *Educational Psychologist*, *43*, 16-26.
- Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretative framework. *Journal of Research in Science Teaching*, *35*, 1031-1055.
- Vosniadou, S. (1999). Conceptual change research: State of the art and future directions. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 3-13). Amsterdam: Pergamon.
- Whelan, R. (2007). Neuroimaging of cognitive load in instructional multimedia. *Educational Research Review*, *2*, 1-12.
- Winberg, T. M., & Berg, A. R. (2007). Students' cognitive focus during a chemistry laboratory exercise: Effects of a computer-simulated prelab. *Journal of Research in Science Teaching*, *44*, 1108-1133.

Acknowledgement

The study was done in the Gene-technology Demonstration Laboratory of the University of Bayreuth (Germany). It was funded by the StUGV (Bavarian State Ministry of the Environment, Public Health and Consumer Protection), the StUK (Bavarian State Ministry of Education) and the German Science Foundation (Deutsche Forschungsgemeinschaft; BO 944/4-2). We are very thankful to F.-J. Scharfenberg and M. Wiseman for valuable discussion and for reading the text. Additionally, we are grateful to all the participating teachers and students involved in this present study.

Appendix A

Presented conceptions about gene technology within I-1 and I-2

Concept/process	Presented conceptions	
	Alternative conceptions (only I-2)	Scientific conception (I-1 and I-2)
Bacterial genotype	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bacteria in the human genotype 2. The inheritance of bacteria 3. The inheritance of illnesses 	The genotype in bacterial cells
Gene	<ol style="list-style-type: none"> 1. A quality, e.g., the color of hair 2. A bacterium, that transfers qualities, e.g., the color of hair 3. A cell, that contains hereditary factors, e.g., for the color of hair 	A hereditary factor, e.g., for the color of hair
Genetic engineering	<ol style="list-style-type: none"> 1. Only the cloning of genes 2. Only the change of qualities 3. Only the inheritance of genes 	The change and transference of genes
Clone	<ol style="list-style-type: none"> 1. Only a person with identical signs 2. Only an animal with identical signs 3. Only an artificially made copy of a living being 	A paired identical copy of a living being
Enzyme	<ol style="list-style-type: none"> 1. Is similar like a gene 2. Releases a special illness 3. Is similar like a hormone 	Releases a chemical reaction

Inheritance of qualities	<ol style="list-style-type: none">1. The passing on of acquired qualities to the children2. The passing on of behavior patterns to the children3. The passing on of illnesses	The passing on of genetic information and with it qualities to the children
Transference of genotype	<ol style="list-style-type: none">1. The passing on of the male genotype with sexual intercourse2. The passing on of qualities of the parents to the children3. The fathering of children	The passing on of genotype to the daughters' cells during cell division
Change of genotype	<ol style="list-style-type: none">1. Only a damage of genotype2. Only a natural process with the passing on of genotype to the children3. Only a natural process during cell division	A process caused by external or internal influence

Appendix B

Questionnaire about students' conceptions in gene technology

1. What do you understand by the concept "bacterial genotype"?
2. What do you understand by the concept "gene"?
3. What do you understand by the concept "genetic engineering"?
4. What do you understand by the concept "clone"?
5. What do you understand by the concept "enzyme"?
6. What do you understand by "inheritance of characters"?
7. What do you understand by "transfer of genes"?
8. What do you understand by "change of genotype"?

Appendix C

Cognitive achievement questionnaire: Tests item examples

3. A plasmid is ...

- a special piece of human DNA.
- the DNA of all organisms.
- a special piece of bacterial DNA.
- the whole DNA of bacteria.

10. Transformation is ...

- a binding of DNA to the bacterial cell.
- an uptake of DNA into the bacterial cell.
- a reinforced growth of bacteria.
- a change of bacterial shape.

11. Bacterial colonies contain ...

- bacteria with different genotype.
- bacteria with the same genotype.
- bacteria with plasmids inside.
- an especially big bacterium.

Appendix D

Appendix D

Median and 25. / 75. percentile of the knowledge scores in the whole sample (G), both instruction groups and the control group (C) in the pre-, post- and delayed-post-test

Groups	Median (25. / 75. percentile)		
	Pre-test	Post-test	Delayed-post-test
C ($n = 72$)	6.00 (5.00 / 8.00)	--	6.00 (5.00 / 8.00)
G ($N = 293$)	7.00 (5.00 / 8.00)	9.00 (7.00 / 10.00)	7.00 (5.00 / 9.00)
I-1 ($n = 137$)	7.00 (5.00 / 8.00)	8.00 (6.00 / 10.00)	7.00 (5.00 / 9.00)
I-2 ($n = 156$)	6.00 (5.00 / 8.00)	9.00 (7.00 / 11.00)	7.00 (5.00 / 9.00)

Appendix E

Appendix E

Median and 25. / 75. percentile of the mental effort scores in both instruction groups (I-1 and I-2) and the whole sample (G) in the four phases of the laboratory lessons

Phases	Median (25. / 75. percentile)		
	I-1 (<i>n</i> = 137)	I-2 (<i>n</i> = 156)	G (<i>N</i> = 293)
Pre-lab	3.00 (2.00 / 5.00)	3.00 (2.00 / 5.00)	3.00 (2.00 / 5.00)
Theoretical	4.50 (3.30 / 6.00)	4.00 (3.00 / 5.40)	4.30 (3.00 / 5.80)
Experimental	4.80 (3.00 / 5.80)	4.00 (3.00 / 6.00)	4.30 (3.00 / 5.90)
Interpretation	5.00 (3.00 / 7.00)	4.00 (3.00 / 6.00)	4.00 (3.00 / 6.00)

Appendix F

Appendix F

Median and 25. / 75. percentile of the instructional efficiency scores of both instruction groups in the experimental and interpretation phase of the laboratory lessons according to post- and delayed-post-test

Phases	Median (25. / 75. percentile)	
	I-1 (<i>n</i> = 137)	I-2 (<i>n</i> = 156)
Experimental phase + Post-test	-0.12 (-0.99 / 0.58)	0.23 (-0.64 / 1.08)
Interpretation phase + Post-test	-0.28 (-1.02 / 0.55)	0.31 (-0.50 / 0.97)
Experimental phase + Delayed-post-test	0.00 (-0.61 / 0.74)	0.21 (-0.42 / 0.88)
Interpretation phase + Delayed-post-test	0.00 (-0.86 / 0.78)	0.31 (-0.51 / 0.88)

7.4. Teilarbeit D

Franke, G., & Bogner, F. X.

Hands-on gene technology: How does a confrontation with alternative conceptions influence pupils' situational emotions and their learning achievement?

Educational Studies, eingereicht.

Hands-on gene technology: How does a confrontation with alternative conceptions influence pupils' situational emotions and their learning achievement?

G. Franke and F.X. Bogner

Department of Biology Didactics, University of Bayreuth, D-95447 Bayreuth, Germany

*Corresponding author. Postal address: Department of Biology Didactics, University of Bayreuth, University Campus/ NW I, D-95447 Bayreuth, Germany. Email:

Gaitano.Franke@uni-bayreuth.de.

Abstract

We examined selected situational emotions (interest, well-being and anxiety) of 291 medium achieving 10th graders during a hands-on gene technology lesson. Two different instruction groups (I-1 and I-2) participated in the same teaching unit, in which four basic experiments of gene technology were performed. I-2 was additionally confronted with alternative conceptions of their peers to central issues and processes of gene technology, in order to support conceptual change: Pupils within I-2 scored higher in positive emotions interest and well-being. The negative emotion anxiety was practically non-existent in both instruction groups. Furthermore, a potential influence of interest and well-being upon the learning success could be indicated. Pupils who felt fine and worked with interest in the experimental lessons, clearly showed better results in the cognitive achievement test. Significant gender differences appeared only in well-being: Boys always felt better in the lessons than girls, no matter to which instruction group they belonged.

Keywords: alternative conceptions; conceptual change; hands-on lessons; molecular biology education; situational emotions

Introduction

Emotional influences on learning

For a long time emotions in teaching situations at school were neglected while researchers focussed on cognitive processes alone (e.g. Anderson, 1980). However, when such emotional aspects were finally studied, testing anxiety was on the research agenda (e.g. Hodapp & Benson, 1997), and others followed later. However, emotions were often monitored independently of educational contents (Laukenmann & Rhöneck, 2003). Only recently, the meaning of the interaction of emotions, motivation and cognition was acknowledged in a learning process (Meyer & Turner, 2002). A pupil's experience in learning and achievement situations within a lesson includes a large number of emotions (Pekrun, 1998): positive including enjoyment, interest and contentment, and negative, for example, anxiety and boredom. They play a major role with lessons, they influence learning behaviour and meta-cognitive processes (Pekrun & Schiefele, 1996).

With regard to the psychology of emotions (Ulich & Mayring, 1992), a distinction between bibliographically developed, enduring emotions (trait-emotions) and situational emotions (state-emotions) needs to be made. Trait-emotions can be seen as individual predispositions of somebody, while situational emotions refer to single lessons and could arise by context during learning processes. Therefore, situational emotions are short-term emotions, which may be seen as the product of the interaction of dispositions and situational condition (Ulich & Mayring, 1992). For the emotion interest, Hidi and Renninger (2006) proposed a four-phase model of interest development, which describes the possibility to consolidate situational interest to individual interest.

Emotions and conceptual change

The emotional component is also important, if a conceptual change is in the teaching focus: Based on everyday experiences, pupils have already developed 'alternative conceptions' on

different subjects and bring those into a classroom (e.g. Tanner & Allen, 2005). Such subjective conceptions ordinarily differ very strongly from ‘scientific conceptions’ (e.g. Treagust, 1988). This might be one reason why pupils do not understand the scientific teaching objectives in the same way as their teachers expect. A conceptual change (Posner et al., 1982), the learning step that changes an existing conception, occurs only seldom. Originally, conceptual change was regarded as a dramatic or revolutionary happening. Newer publications regard it rather as a slow, continuous learning process (Limón, 2001). The ‘classical’ model of conceptual change, which concentrated on cognitive aspects, was extended over the course of time. Today, ontological convictions of the pupils (e.g. Treagust & Duit, 2008) as well as motivational factors are considered (e.g. Pintrich, Marx & Boyle, 1993). Furthermore, the context (e.g. Caravita & Halldén, 1994) and the learning environment (e.g. Vosniadou et al., 2001) are taken into account. To date, affective perspectives have had limited attention, though ‘they play a significant role in supporting conceptual change on the level of science content knowledge’ (Treagust & Duit, 2008, 300).

Emotions in association with achievement

Emotions have already been monitored in lessons in different school environments (Hancock, 2003). Some studies measure pupils’ interest in a certain subject, for instance physics (e.g. Häussler, 1987; Hoffmann, 2002). The capture of (short-term) situational emotions has occurred in physics as well (e.g. Gläser-Zikuda, 2001; Gläser-Zikuda & Mayring, 2003; Laukenmann & Rhöneck, 2003). In the subject of biology, situational emotions have, for instance, been measured during a teaching unit on ecology (Gläser-Zikuda et al., 2005). Some researchers have found evidence for correlations between emotions and achievement scores in various subjects (e.g. Laukenmann et al., 2003; Löwe, 1992; Krapp, 1998; Schiefele & Csikszentmihalyi, 1993). Löwe (1992) found that interest in biology had a strong positive impact on learning and achievement. Laukenmann et al. observed positive correlations

between interest and achievement test scores in physics classes. In general, Fraser et al. (1987) and Schiefele (1998) found a positive correlation between interest and achievement in science education.

Schiefele and Csikszentmihalyi (1993) found a correlation between interest and grades in biology, although Löwe (1992) reported only a weak relationship.

Studies about emotions and gender differences

In the present study, we examined whether there are gender differences in emotions during lessons at school. In recent studies, gender effects in particular have been examined in relation to the emotion interest (e.g. Finke, 1998; Fuß & Gläser-Zikuda, 2003; Hoffmann & Lehrke, 1986; Miller, Blessing & Schwartz, 2006; Weinburgh, 1995). Hoffmann & Lehrke (1986) found higher interest scores of boys in science subjects. Some authors have reported a substantial difference with girls showing higher interest in biology (e.g. Miller, Blessing & Schwartz, 2006), but others found no such effect (e.g. Finke, 1998). Weinburgh (1995) regarded differences between boys and girls in the school subject biology as small. Fend (1997) reported a negative correlation between pupils' well-being with increase of grade, but found no gender effect. Two studies by Fuß and Gläser-Zikuda (2003) and Gläser-Zikuda and Fuß (2004) dealt with gender effects in connection with situational emotions. They found higher situational interest in physics by the boys, as well as a higher well-being. However, the situational emotion anxiety did not show a gender effect.

Present study

In the present study, we measured the situational emotions interest, well-being and anxiety within the scope of experimental lessons on the biological subject of gene technology. In this context, we checked the effects on these emotions of taking pupils' alternative conceptions into consideration. We confronted the pupils with their own conceptions in order to foster

conceptual change. We also measured pupils' individual interest in gene technology in order to compare it with their situational emotions. We focused on the following questions: (1) Does a confrontation with pupils' alternative conceptions produce positive consequences on the situational (state) interest, well-being and anxiety of the pupils? (2) Do gender-specific differences appear? (3) Are emotional differences also reflected in the achievement level of the pupils? (4) Is there a correlation between pupils' situational emotions (state-emotions) and their individual interest in the topic of the teaching unit?

Methodology

The participants

Altogether, a total of 291 medium achieving 10th graders (158 boys, 133 girls) with an average age of 16.10 years ($SD = 0.76$) participated. They visited 11 classes of several secondary schools with a medium stratification level ('Realschule') in Northern Bavaria. They were all comparable in age, socio-economic status and average level of performance in science. Gene technology was a completely new subject for all participants. However, all pupils learned basic genetics for about one term as specified in the official Bavarian syllabus (Bavarian State Ministry of Education, 2001). In the 10th grade, all pupils received biology lessons as two 45-minute periods per week.

The teaching unit about gene technology

The given gene technology teaching unit corresponded to the official syllabus (Bavarian State Ministry of Education, 2001) by concentrating on eight specific learning goals: (1) ability to carry out gene technology experiments in small groups, (2) overview about the principles of gene technology, (3) overview about how restriction enzymes work, (4) overview about the processes of the recombination of a plasmid, (5) knowledge about the transformation of

bacteria, (6) overview about the meaning of inoculation of bacteria samples on agar plates, (7) ability to evaluate the results of the inoculation and (8) disposition to discuss about ethical aspects of the production of transgenic organisms. It took place in an out-of-school laboratory, due to limitations in the possibility of hands-on work at school. The lessons consisted of a 60-minute pre-lab phase, a 300-minute experimental-laboratory phase and a 30-minute interpretation phase. In the pre-lab phase, the pupils were cautiously and gradually made familiar with the basic operations at their working place, such as the correct using of a micro-pipette or sterile working. This phase is necessary to permit safe execution of the subsequent experimental-lab phase (Dunn & Boud, 1986; Lunetta, 1998). In the experimental-lab phase, four experiments of gene technology were performed: (1) enzymatic restriction of plasmidic DNA with two selected enzymes, (2) ligation of DNA, (3) transformation of bacteria with recombinant plasmids, (4) inoculation of the bacterial samples on agar plates. The experiments were organized in the conventional approach of hands-on lessons (e.g. Dunn & Boud, 1986): After a theoretical step (minds-on step), in which the background of the experiments was discussed, in a following hands-on step one of the above experiments was carried out independently by the pupils in groups of three or four. At the end of the teaching unit there was an interpretation phase, in which the pupils discussed the results of their experiments in light of their theoretical knowledge.

The research design

The study followed a quasi-experimental design (Table 1). The pupils were divided into two instruction groups (I-1 and I-2), both receiving the same instruction. In addition, instruction group I-2 was confronted with pupils' alternative conceptions, which involved central terms and processes of gene technology. For each term/ process the teacher presented three frequent alternative conceptions. Latter ones were tackled prior to participation in five 10th classes of a secondary school with the same medium stratification level as the ones in the present study.

One of these classes later participated in our hands-on lessons as a partial-group of I-2. Unfortunately, the remaining four classes could not take part in the lessons for organisational reasons. The alternative conceptions were examined by analysing an open questionnaire (authors, submitted). In Appendix 1 we specify the scientific conceptions and alternative conceptions (only within I-2), which were presented in the lessons.

Table 1: Design of the quasi-experimental study

Groups	Instruction Group 1 as control (I-1)	Instruction Group 2 as treatment (I-2)
60 min	Pre-lab-phase	Pre-lab-phase
300 min	Experimental-lab lesson (without confrontation with pupils' alternative conceptions)	Experimental-lab lesson (with confrontation with pupils' alternative conceptions)

The presentation of these conceptions in the lessons was realised on the basis of a modified 'constructivist teaching sequence' (Driver, 1989). In the centre of this method is an engagement with pupils, in which the teacher does not review previous learning experience, but begins with just such aspects of pupil understanding that are contradictory for the learner. Therefore, pupils were confronted with different alternative conceptions and with the scientific view afterwards. In a subsequent experimental situation the new knowledge was used. In this model, a cognitive conflict is necessary to convince the pupils of the validity of the scientific perception and hence reach such a conceptual change.

In order to avoid any bias caused by the teacher as a person (a factor known to relate strongly to any learning and achievement; Pintrich, Marx & Boyle, 1993), we decided to rely on one single researcher to provide all the instructions, who was previously unknown to our pupils.

The measures

For measuring situational emotions, we used a modified 12-item scale provided by Gläser-Zikuda (2001) and Laukenmann et al. (2003), covering the situational emotions interest (SE_{Int} , 4 items), well-being (SE_{Wb} , 4 items) and anxiety (SE_{Anx} , 4 items). The emotion boredom was not included in the analysis, because it consisted of just one item. The scoring followed a 5-digit Likert scale (1= *very slightly* ... 5= *very largely*) and was done by the pupils within both groups immediately after the experimental lessons. SPSS 15.0 was used for statistical analysis. We used non-parametric tests for statistical evaluation, due to non-normal distribution of our scores (Kolmogorov-Smirnov with Lilliefors Significance Correction, $p < 0.001$). Our reliability analyses (Cronbach's α) yielded $\alpha = .78$ for the remaining 12 items. The exploratory factor analyses (Varimax) confirmed the scale's dimensionality (loading scores between 0.86 and 0.54; Table 2). It reached an explained variance of 64.90%. Kaiser-Meyer-Olkin statistics showed 0.86. Kaiser (1974) characterizes measures in the 0.80's as meritorious. Bartlett's test of sphericity resulted in $\chi^2(66, N = 291) = 1515.88, p < .001$.

Table 2: Factor analysis (Varimax) of the situational emotion items interest, well-being and anxiety related to the content of the lesson unit about gene technology

Items	Factor loadings	Eigen values
Interest		4.81
1. The lessons were interesting for me.	0.64	
2. I found that topic important.	0.79	
3. I want to hear more about that topic.	0.79	
4. The information on that topic yields something to me.	0.79	
Well-being		1.96
1. The lessons pleased me.	0.80	
2. I was satisfied with the lessons.	0.75	
3. For me it were good lessons.	0.73	
4. I enjoyed the lessons.	0.86	
Anxiety		1.01
1. I was stressed in the lessons.	0.54	
2. The lessons frightened me.	0.74	
3. Several events alarmed me.	0.70	
4. I felt insecure during the lessons.	0.81	

Cognitive achievement was measured using 15 multiple choice questions immediately after the training period. The measures examined the taught topics of gene technology dealt with during the instruction. In Appendix 2 we present three selected test items for demonstration purposes. To conduct statistical computations of the multiple choice questions, correct answers were rated with 1, incorrect ones with 0. Reliability analyses such as Cronbach's α yielded .63. Syllabus consistency provided appropriate content validity; all

items followed the specific learning goals of our intervention. We used non-parametric tests for statistical evaluation, due to a non-normal distribution of the rawdata as shown by a significant Kolmogorov-Smirnov-Test with Lilliefors Significance Correction ($p < .001$ in T-1, T-2 and T-3).

Pupils' individual interest in the topic gene technology was examined using a self-developed 11-item scale according to Häussler (1987) and Hoffmann (2002). The scoring followed a 5-stage Likert scale (1= *very high* ... 5= *very low*) at three test times (T-1: one week before the training period, T-2: directly after the lessons, T-3: six weeks later). The test contained all aspects of the specific lesson unit (Appendix 3). Reliability analyses such as Cronbach's α revealed an $\alpha_{T-1} = .80$, an $\alpha_{T-2} = .89$ and an $\alpha_{T-3} = .89$.

For a non-parametric measure of correlation between situational emotions and other variables (e.g. cognitive achievement), Spearman's rank correlation coefficient (Spearman-Rho) was used.

Results

Both instruction groups showed high scores in their situational interest and well-being as well as low ones in situational anxiety (Appendix 4). A comparison of both groups showed a significantly higher interest and well-being with the I-2-group, but similar ones in anxiety (Figure 1, Table 3).

Figure 1: Comparison of situational emotions scores within the two instruction groups; I-1 without confrontation; I-2 with confrontation

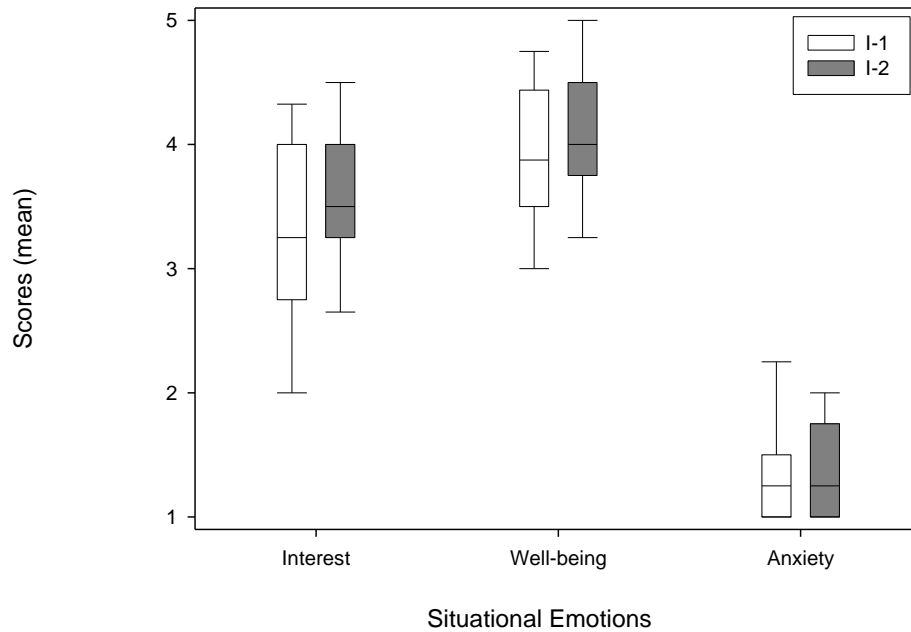


Table 3: Between-groups comparison of situational emotions scores (Mann-Whitney-U-Test)

Groups ^a	I-2		
	Interest	Well-being	Anxiety
I-1			
Interest ($n = 86$)	-2.44*		
Well-being ($n = 76$)		2.93**	
Anxiety ($n = 106$)			-0.30

^a $n_{I-1} = 136$, $n_{I-2} = 155$

** denotes $p < .01$, * denotes $p < .05$

In contrast to the situational emotions interest and anxiety, only well-being showed a gender effect in the group as a whole, Mann-Whitney-U-Test ($Z = -3.38, p = .001$, two-tailed) as well as in both instruction groups, Mann-Whitney-U-Test ($Z(I-1) = -2.09, p = .04$, two-tailed; $Z(I-2) = -2.55, p = .01$, two-tailed). The sex-specific cross comparison between I-1 and I-2 showed significant differences in well-being scores only for the boys, Mann-Whitney-U-Test ($Z(\text{males}) = -2.07, p = .038$, two-tailed; $Z(\text{females}) = -1.95, p = .05$, two-tailed).

A non-parametric correlation analysis (Spearman-Rho) showed correlations between the cognitive achievement tests and selected situational emotions ($\text{Rho}_{(\text{interest})} = .25, p < .001$; $\text{Rho}_{(\text{well-being})} = .15, p = .01$). We determined two situational emotion sub-samples, the first consisting of the lower quartile, the second of the highest quartile of the total group. Pupils with higher interest and well-being scores reached a higher cognitive achievement level (Figure 2, Table 4, Appendix 5).

Figure 2: Comparison of cognitive achievement scores of the two situational emotions quartiles (1st/4th)

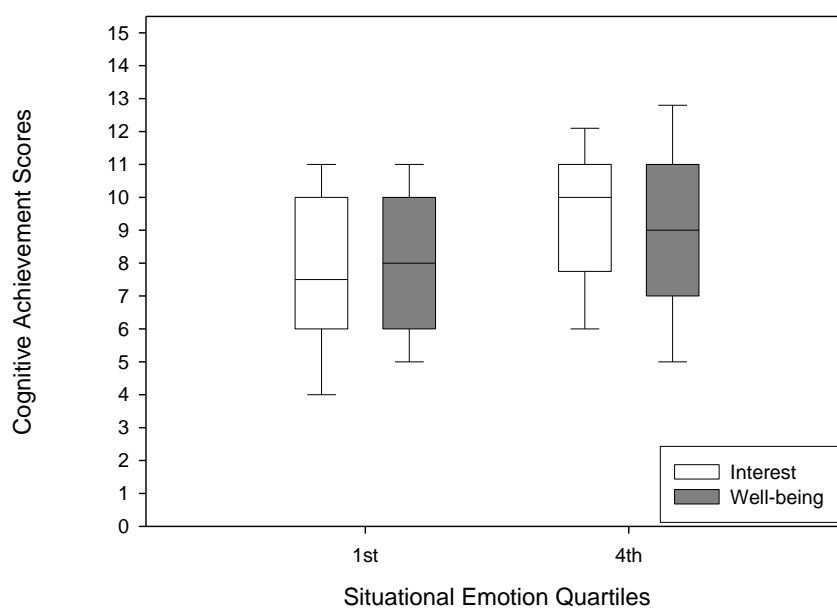


Table 4: Comparison of cognitive achievement scores of situational emotion sub-samples (1st and 4th quartile) (Mann-Whitney-U-Test)

Sub-samples	4th quartile	
	Interest (<i>n</i> = 78)	Well-being (<i>n</i> = 91)
1st quartile		
Interest (<i>n</i> = 86)	-4.25***	
Well-being (<i>n</i> = 76)		-2.34*

*** denotes $p < .001$, ** denotes $p < .01$, * denotes $p < .05$

No significant correlations between school subject grades and situational emotions were found (e.g. biology: $Rho_{(interest)} = -.06$, $p = .32$; $Rho_{(well-being)} = -.03$, $p = .64$; $Rho_{(anxiety)} = -.01$, $p = .91$).

An analysis of pupils' individual interest in gene technology at different testing schedules and the situational emotions revealed high intercorrelations ($Rho_{(interest)} = .47$, $p < .001$; $Rho_{(well-being)} = .29$, $p < .001$). They increased even further with the inquiry of the interest in gene technology directly after the training period ($Rho_{(interest)} = .62$, $p < .001$; $Rho_{(well-being)} = .40$, $p < .001$) or six weeks later ($Rho_{(interest)} = .53$, $p < .001$; $Rho_{(well-being)} = .40$, $p < .001$; Table 5).

Table 5: Correlations matrix between situational emotions (state-emotions) and pupils' individual interest in gene technology (Spearman-Rho)

	Individual interest (Pre-test)	Individual interest (Post-test)	Individual interest (Retention-test)
State interest	.47***	.62***	.53***
State well-being	.29***	.40***	.40***

*** denotes $p < .001$

Discussion

As expected, all pupils showed a high situational interest and well-being at the experimental work. Anxiety was practically non-existent. It also showed that building upon pupils' alternative conceptions increased scores of interest and well-being significantly, while anxiety seems not to be affected by pupils' alternative conceptions in the lessons.

If one compares genders concerning their emotion values, significant differences appear only in well-being. Boys always felt better in the lessons than girls, no matter to which instruction group they belonged. Other researchers such as Gläser-Zikuda and Fuß (2004) reported similar gender effects for well-being in physics. Besides, the well-being of the boys was significantly higher in I-2 than in I-1. Girls' well-being could not be significantly influenced by confrontation with their alternative conceptions. We have observed this in another context: Conceptual change occurred with girls, no matter whether their alternative conceptions were considered before (authors, in press). The missing gender differences between girls and boys in their situational interest is supported by a study of Finke (1998) for biology classes, while other studies (e.g. Miller, Blessing & Schwartz, 2006) reported higher interest by the girls.

Quantitative analysis indicated a potential influence of the confrontation with alternative conceptions on pupils' situational interest and well-being as well as on their learning success. The boys and girls who felt fine and worked with interest in the experimental lessons, clearly showed better results in the cognitive achievement test. These results are in line with previous studies (e.g. in physics: Gläser-Zikuda & Mayring, 2003; Laukenmann et al., 2003; Laukenmann & Rhöneck, 2003 or biology: Löwe, 1992). In general, correlation values were quite similar (e.g. Laukenmann et al.: $Rho_{(interest)} = .20, p < .001$; $Rho_{(well-being)} = .17, p < .001$; our present study: $Rho_{(interest)} = .25, p < .001$; $Rho_{(well-being)} = .15, p = .010$). Negative situational emotions were again not influenced, like anxiety, which correlates in another study negatively with the achievement test (Laukenmann & Rhöneck, 2003). This correlation reported there, however, relatively weak ($Rho_{(anxiety)} = -.08, p < .05$). Nevertheless, we were not able to enquire whether the hands-on lessons provided a strengthening effect on learning success, due to the lack of a control group at school. Indeed, we could exclude the possibility that the strength of interest and well-being in the hands-on lessons were not connected with the present achievements at school. This result is not inline with the results of other studies, in which a correlation between interest and grades in biology has been monitored (e.g. Löwe, 1992; Schiefele & Csikszentmihalyi, 1993).

In addition, pupils who already brought with them a high individual interest for the topic (here: gene technology), also had a high situational interest and well-being in the lessons as well. Also a long-term effect was noticeable: Pupils who connected the experimental lessons with positive (situational) emotions also showed high interest in the topic gene technology in the long-term. This may indicate a consolidation of situational interest to individual interest, as described by Hidi and Renninger (2006) in their 'Four-phase model of interest development'.

Conclusions

We have demonstrated that pupils showed more positive emotions if a lesson considered pupils' alternative conceptions. This led them also to better cognitive achievement test results. Especially, boys' well-being and learning achievements were positively influenced by the confrontation method. It is hence advisable to measure pupils' alternative conceptions and to use this in a wide variety of teaching contents. Also, a pupil's interest with regard to the choice of material needs to be taken into account, when positive emotions need a strengthening and the learning achievements an improvement. Pupils are particularly interested in subjects related to everyday experiences (Gläser-Zikuda, 2001). Unfortunately, schools are bound in inflexible syllabi with material overload. To sum up: A consideration of emotional factors plays an important role for learning science. In positive learning atmospheres boys feel fine and improve their school achievement substantially. With the right to choose learning material individually, positive consequences on situational emotions and, again, learning achievements are to be expected. In this context, Zembylas (2005) goes a step further by calling for the development of a unity between cognitive and emotional dimensions in science teaching and learning.

References

- Anderson, J.R. (1980). *Cognitive psychology and its implications*. San Francisco: Freeman.
- Bavarian State Ministry of Education (2001). *Lehrplan für die sechsstufige Realschule, Fachlehrpläne Biologie*. München, Germany: Verlag J. Maiß.
- Caravita, S., & Halldén, O. (1994). Re-framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction, 4*, 89-111.
- Driver, R. (1989). Changing conceptions. In P. Adey, J. Bliss, J. Head, & M. Shayer (Eds.), *Adolescent development and school science* (pp. 79-104). New York: The Falmer Press.
- Dunn, J., & Boud, D. (1986). Sequencing and organization. In D. Boud, J. Dunn & E. Hegarty-Hazel (Eds.), *Teaching in laboratories*. Exeter, UK: NFER- Nelson.
- Fend, H. (1997). *Der Umgang mit Schule in der Adoleszenz*. Bern, Suisse: Huber.
- Finke, E. (1998). *Interesse an Humanbiologie und Umweltschutz in der Sekundarstufe I. Empirische Untersuchung zu altersbezogenen Veränderungen und Anregungsfaktoren*. Hamburg, Germany: Verlag Dr. Kovac.
- Fraser, B.J., Walberg, H.J., Welch, W.W., & Hattie, J.A. (1987). Synthesis of educational productivity research. *International Journal of Educational Research, 11*, 145-252.
- Fuß, S., & Gläser-Zikuda, M. (2003). Emotionen und Lernleistungen in den Fächern Deutsch und Physik. *Lehren und Lernen, 4*, 5-11.
- Gläser-Zikuda, M. (2001). *Emotionen und Lernstrategien in der Schule*. Weinheim, Germany: Beltz Verlag.
- Gläser-Zikuda, M., & Fuß, S. (2004). Wohlbefinden von Schülerinnen und Schülern im Unterricht. In T. Hascher (Ed.), *Schule positiv erleben. Ergebnisse und Erkenntnisse zum Wohlbefinden von Schülerinnen und Schülern* (pp. 27-48). Bern, Suisse: Haupt.

- Gläser-Zikuda, M., Fuß, S., Laukenmann, M., Metz, K., & Randler, C. (2005). Promoting students' emotions and achievement – Instructional design and evaluation of the ECOLE-approach. *Learning and Instruction, 15*, 481-495.
- Gläser-Zikuda, M., & Mayring, P. (2003). A qualitative oriented approach to learning emotions at school. In P. Mayring, & C. von Rhoeneck (Eds.), *Learning emotions* (pp. 103-126). Frankfurt, Germany: Peter Lang.
- Häussler, P. (1987). Measuring students' interest in physics – design and results of a cross-sectional study in the Federal Republic of Germany. *International Journal of Science Education, 9*, 79-92.
- Hancock, D.R. (2003). Influencing Students' Achievement in Eighth Grade German and U.S. Classrooms. In P. Mayring, & C. von Rhoeneck (Eds.), *Learning emotions* (pp. 143-157). Frankfurt, Germany: Peter Lang.
- Hidi, S., & Renninger, A.K. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational Psychologist, 41*, 111-127.
- Hodapp, V., & Benson, J. (1997). The multidimensionality of test anxiety: A test of different models. *Anxiety, Stress and Coping, 10*, 219-244.
- Hoffmann, L. (2002). Promoting girls' interest and achievement in physics classes for beginners. *Learning and Instruction, 12*, 447-465.
- Hoffmann, L., & Lehrke, M. (1986). Eine Untersuchung über Schülerinteresse an Physik und Technik. *Zeitschrift für Pädagogik, 32*, 189-204.
- Kaiser, H. F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika, 39*, 31-36.
- Krapp, A. (1998). Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht, 44*, 185-201.
- Laukenmann, M., Bleicher, M., Fuß, S., Gläser-Zikuda, M., Mayring, P., & von Rhöneck, C. (2003). An investigation of the influence of emotional factors on learning in physics instruction. *International Journal of Science Education, 25*, 489-507.

- Laukenmann, M., & von Rhoeneck, C. (2003). The Influence of Emotional Factors on Learning in Physics Instruction. In P. Mayring, & C. von Rhoeneck (Eds.), *Learning emotions* (pp. 67-80). Frankfurt, Germany: Peter Lang.
- Limón, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: A critical appraisal. *Learning and Instruction, 11*, 357-380.
- Löwe, B. (1992). *Biologieunterricht und Schülerinteresse an Biologie*. Weinheim, Germany: Deutscher Studienverlag.
- Lunetta, V.N. (1998). The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. In B. J. Fraser & K. J. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 249-262). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Meyer, D.K., & Turner, J.C. (2002). Discovering emotion in classroom motivation research. *Educational Psychologist, 37*, 107-14.
- Miller, P.H., Blessing, J.S., & Schwartz, S. (2006). Gender differences in high-school students' view about science. *International Journal of Science Education, 28*, 363-381.
- Pekrun, R. (1998). Schüleremotionen und ihre Förderung: Ein blinder Fleck der Unterrichtsforschung. *Psychologie in Erziehung und Unterricht, 45*, 230-248.
- Pekrun, R., & Schiefele, U. (1996). Emotions- und motivationspsychologische Bedingungen der Lernleistung. In F. E. Weinert (Ed.), *Psychologie des Lernens und der Instruktion. Enzyklopädie der Psychologie, I, 2*, (pp. 152-179). Göttingen, Germany: Hogrefe.
- Pintrich, P.R., Marx, R.W., & Boyle, R.A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research, 63*, 167-199.

- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W., & Gertzog, W.A. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Schiefele, U. (1998). Individual interest and learning – What we know and what we don't know. In L. Hoffmann, A. Krapp, A. K. Renninger, & J. Baumert (Eds.), *Interest and learning: Proceedings of the Seeon conference on interest and gender* (pp. 91-104). Kiel, Germany: IPN.
- Schiefele, U., & Csikszentmihalyi, M. (1993). Interest and the quality of experience in classrooms. *Studies in Educational Psychology*, 6, 1-23.
- Tanner, K., & Allen, D. (2005). Approaches to biology teaching and learning: understanding the wrong answers – teaching toward Conceptual Change. *Cell Biology Education*, 4, 112-117.
- Treagust, D.F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10, 159-169.
- Treagust, D.F., & Duit, R. (2008). Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural studies of Science Education*, 3, 297-328.
- Ulich, D., & Mayring, P. (1992). *Psychologie der Emotionen*. Stuttgart, Germany: Kohlhammer.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., & Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, 11, 381-419.
- Weinburgh, M. (1995). Gender differences in student attitudes toward science: A meta-analysis of the literature from 1970 to 1991. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 387-398.

Zembylas, M. (2005). Three perspectives on linking the cognitive and the emotional in science learning: Conceptual change, socio-constructivism and post-structuralism. *Studies in Science Education*, 41, 91-116.

Acknowledgements

The study was conducted in the Gene-technology Demonstration Laboratory of the University of Bayreuth. It was funded by the Bavarian State Ministry of the Environment, Public Health and Consumer Protection, the Bavarian State Ministry of Education and the German Science Foundation (DFG; BO 944/4-4).

We are very thankful to M. Wiseman and F.-J. Scharfenberg for valuable discussion and for reading the text. Additionally, we are grateful to all the participating teachers and students involved in this study.

Notes on contributors

Gaitano Franke is lecturer at the Department of Biology Didactics at the University of Bayreuth.

Prof. Dr. Franz X. Bogner is Chairman of the Biology Didactics at the University of Bayreuth and Chairman of the Bavarian Biology Didactics peers.

Appendix 1: Presented conceptions about gene technology within I-1 and I-2

Term/ process	Presented conceptions	
	Alternative conceptions (only I-2)	Scientific conception (I-1 and I-2)
Bacterial genotype	<ol style="list-style-type: none"> 1. bacteria in the human genotype 2. the inheritance of bacteria 3. the inheritance of illnesses 	the genotype in bacterial cells
Gene	<ol style="list-style-type: none"> 1. a quality, e.g. the colour of hair 2. a bacterium, that transfers traits, e.g. the colour of hair 3. a cell, that contains hereditary factors, e.g. for the colour of hair 	a hereditary factor, e.g. for the colour of hair
Genetic engineering	<ol style="list-style-type: none"> 1. only the cloning of genes 2. only the change of traits 3. only the inheritance of genes 	the change and transference of genes
Clone	<ol style="list-style-type: none"> 1. only a person with identical signs 2. only an animal with identical signs 3. only an artificially made copy of a living being 	a paired identical copy of a living being
Enzyme	<ol style="list-style-type: none"> 1. is similar like a gene 2. releases a special illness 3. is similar like a hormone 	releases a chemical reaction

Inheritance of traits	<ol style="list-style-type: none">1. the passing on of acquired traits to the children2. the passing on of behaviour patterns to the children3. the passing on of illnesses	the passing on of genetic information and with it traits to the children
Transference of genotype	<ol style="list-style-type: none">1. the passing on of the male genotype with sexual intercourse2. the passing on of traits of the parents to the children3. the fathering of children	the passing on of genotype to the daughters' cells during cell division
Change of genotype	<ol style="list-style-type: none">1. only a damage of genotype2. only a natural process with the passing on of genotype to the children3. only a natural process during cell division	a process caused by external or internal influence

Appendix 2: Cognitive achievement questionnaire: Tests item examples**3. A plasmid is ...**

- a special piece of human DNA.
- the DNA of all organisms.
- a special piece of bacterial DNA.
- the whole DNA of bacteria.

10. Transformation is ...

- a binding of DNA to the bacterial cell.
- an uptake of DNA into the bacterial cell.
- a reinforced growth of bacteria.
- a change of bacterial shape.

11. Bacterial colonies contain ...

- bacteria with different genotype.
- bacteria with the same genotype.
- bacteria with plasmids inside.
- an especially big bacterium.

Appendix 3: Questionnaire: Individual interest in gene technology**My interest in this (item) is ...**

	very high	high	medium	low	very low
1. to get more information about the production of medication by gene technology?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. to get more information about the success of medical applications on humans?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. to get more information about the active manipulation of human genetic information?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. to get more information about the manipulation of germ cells in order to prevent hereditary diseases?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. how to cut bacterial DNA?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. how to insert foreign genes in a bacterium?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. how to join different DNA pieces?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. how to clone bacterial DNA?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. to discuss the ethical judgement of applying gene technology?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. to discuss the moral borders of gene technology?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. to discuss the ban of certain applications of gene technology in Germany?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Appendix 4: Median and 1st/4th quartile of situational emotion scores in the whole sample (G) and the instruction groups (I-1 and I-2)

Groups	Median (1st/4th quartile)		
	Situational emotion scores		
	Situational interest	Situational well-being	Situational anxiety
G ($N = 291$)	3.50 (3.00 / 4.00)	4.00 (3.50 / 4.50)	1.30 (1.00 / 1.50)
I-1 ($n = 136$)	3.30 (2.80 / 4.00)	3.90 (3.50 / 4.40)	1.30 (1.00 / 1.50)
I-2 ($n = 155$)	3.50 (3.30 / 4.00)	4.00 (3.80 / 4.50)	1.30 (1.00 / 1.80)

Appendix 5: Median and 1st/4th quartile of cognitive achievement scores for situational interest and well-being quartiles (1st/4th)

Groups	Median (1st/4th quartile)
	Cognitive achievement score
Situational interest 1st quartile ($n = 86$)	7.50 (6.00 / 10.00)
Situational interest 4th quartile ($n = 78$)	10.00 (7.80 / 11.00)
Situational well-being 1st quartile ($n = 76$)	8.00 (6.00 / 10.00)
Situational well-being 4th quartile ($n = 91$)	9.00 (7.00 / 11.00)

8. Anhang

8.1. Schreiben des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht und Kultus

8.1.1. Schreiben zur Abordnung

Bayerisches Staatsministerium für
Unterricht und Kultus



Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, 80327 München

Staatliche Realschule Burgkunstadt
Kirchleiner Straße 16
96224 Burgkunstadt

Unser Zeichen (bitte bei Antwort angeben)
V.4 - 5P6060F - 2e.30 431

München, 19.07.2007
Telefon: 089 2186 2046
Name: Frau Wolf

Abordnung;
hier: Realschullehrer Gaitano Franke, geb. 21. April 1971 (B/C)

Anlage: 1 Abdruck dieses Schreibens
1 Empfangsbestätigung

Realschullehrer Gaitano Franke wird mit seinem Einverständnis aus dienstlichen Gründen für die Zeit vom 1. September 2007 bis 31. August 2009 von der Staatliche Realschule Burgkunstadt an die Universität Bayreuth – Lehrstuhl für Didaktik der Biologie – abgeordnet.

Er wird mit der Wahrnehmung der Aufgaben im Bereich des Gentechnik – Demonstrationslabors der Universität Bayreuth beauftragt.

Die Arbeitszeit des Beamten richtet sich nach der Verordnung über die Arbeitszeit für den bayerischen öffentlichen Dienst (Arbeitszeitverordnung – AzV) in der jeweils geltenden Fassung. Sie beträgt für vollbeschäftigte Beamte derzeit 42 (Zeit-)Stunden pro Woche (§ 2 AzV).

Erholungsurlaub wird nach den Bestimmungen der Verordnung über den Urlaub der bayerischen Beamten und Richter (Urlaubsverordnung – UrIV) gewährt.

Telefon: 089 2186 0
Telefax: 089 2186 2800

e-mail: poststelle@stmuk.bayern.de
Internet: www.stmuk.bayern.de

Salvatorstraße 2 · 80333 München
U3, U4, U5, U6 - Haltestelle Odeonsplatz

- 2 -

Beiliegender Abdruck dieses Schreibens ist Herrn Franke gegen Nachweis auszuhändigen.

Die Universität Bayreuth und das Landesamt für Finanzen, Dienststelle Würzburg - Bezügestelle Besoldung - erhalten jeweils einen Abdruck dieses Schreibens.

gez. Kellner
Ministerialrat

8.1.2. Schreiben zur Genehmigung der Erhebung

Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, 80327 München

Herrn
Prof. Dr. Franz X. Bogner
Universität Bayreuth
Universitätsstraße 30
95440 Bayreuth

Ihr Zeichen / Ihre Nachricht vom
18.10.2007

Unser Zeichen (bitte bei Antwort angeben)
V.2-5 O 6106/1/2

München, 19.03.2008
Telefon: 089 2186 2543
Name: Herr Ceglarek

Genehmigung einer Erhebung nach § 4 Abs. 3 RSO

Sehr geehrter Herr Professor Bogner

mit Schreiben vom 18. Oktober 2007 haben Sie sich an das Staatsministerium für Unterricht und Kultus mit der Bitte um Genehmigung einer Datenerhebung (Lernen im Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik) an Realschulen in Nordbayern gewandt.

Die Erhebung wird unter Beachtung der folgenden Punkte genehmigt:

1. Die Schulleitungen der Realschulen, an denen die Erhebung durchgeführt werden soll, müssen ihr Einverständnis erklären.
2. Die Anonymität der Betroffenen muss gewahrt bleiben, aus der Auswertung der Befragungsergebnisse dürfen keine Rückschlüsse auf einzelne Schulen, Schüler oder Lehrkräfte möglich sein. Es wird davon ausgegangen, dass alle datenschutzrechtlichen Bestimmungen beachtet werden.
3. Die Erhebung ist außerhalb der Unterrichtszeit durchzuführen, es sei denn, dass der Zweck der Erhebung ihre Verlegung in die Unterrichtszeit (Vertretungsstunden) gebietet.
4. Die Mitwirkung aller Beteiligten ist freiwillig - sie sollten darauf ausdrücklich hingewiesen werden.
5. Es wird auf das Verbot der kommerziellen Werbung in Schulen (Art. 84 Abs.1 Bay EUG) hingewiesen.
6. Dem Staatsministerium werden nach Abschluss der Erhebung die Ergebnisse unter Angabe des o.g. Aktenzeichens zur Verfügung gestellt.

Mit freundlichen Grüßen
gez. Konrad Huber
Regierungsdirektor

8.2. Unterricht im Demonstrationslabor Bio-/ Gentechnik

Grundlage des Experimentalunterrichtes im Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik sind die folgenden Grob- und Feinziele (GZ und FZ) sowie Lerninhalte:

GZ 1: Fähigkeit gentechnische Experimente selbstständig in Kleingruppen durchzuführen

Lerninhalte:

- Durchführung von zwei Vorversuchen (Pipettierübung, Übung zum Ausplattieren)
- Schneiden eines Plasmids (= ringförmige Bakterien-DNS) mit zwei verschiedenen Schneideenzymen (Versuch 1)
- Verbindung der aufgeschnittenen Plasmid-DNS mit einem Stück Fremd-DNS mithilfe eines Bindeenzym (Versuch 2)
- Einschleusen der neu kombinierten Plasmide in Bakterienzellen (= Transformation) (Versuch 3)
- Vereinzelung der Bakterien (Ausplattieren) (Versuch 4)

GZ 2: Überblick über die Grundlagen der Gentechnik

Lerninhalte:

- Erklärung des Begriffs „Gentechnik“
- Schritte der Gentechnik: Isolation von DNS, Schneiden von DNS, Zusammenfügen von DNS, Transformation, Vereinzelung und Vermehrung von Bakterien, Auslese, (Produktgewinnung)

Feinziele:

FZ 2.1: Die Schüler sollen den Begriff „Gentechnik“ erklären können.

FZ 2.2: Die Schüler sollen die grundlegenden Schritte eines gentechnischen Experiments in der richtigen Reihenfolge nennen können.

GZ 3: Überblick über die Arbeitsweise von Schneideenzymen

Lerninhalte:

- Erklärung des Begriffs „Plasmid“
- Arbeitsbedingungen von Schneideenzymen
- Schneideenzyme sind universell einsetzbar
- Existenz verschiedener Schneideenzyme mit unterschiedlichen „Schnittmustern“

Feinziele:

FZ 3.1: Die Schüler sollen Plasmide als besondere Form bakterieller DNS kennen.

FZ 3.2: Die Schüler sollen die Bedingungen kennen, unter denen Schneideenzyme arbeiten.

FZ 3.3: Die Schüler sollen wissen, dass Schneideenzyme die DNS aller Lebewesen schneiden können.

FZ 3.4: Die Schüler sollen wissen, dass es verschiedene Schneideenzyme gibt, die sich darin unterscheiden, an welcher Stelle sie schneiden.

GZ 4: Überblick über die Vorgänge bei der Bildung eines neu kombinierten Plasmids

Lerninhalte:

- Erklärung des Begriffs „Bindeenzym“
- Fremd-DNS kann nur mit Plasmid-DNS verbunden werden, wenn sie mit den selben Schneideenzymen geschnitten wurde
- Erklärung des Begriffs „Neukombination von Erbgut“

Feinziele:

FZ 4.1: Die Schüler sollen die Funktionsweise eines Bindeenzym erklären können.

FZ 4.2: Die Schüler sollen erkennen, dass DNS-Stücke nur miteinander verbunden werden können, wenn sie mit denselben Schneideenzymen geschnitten wurden.

FZ 4.3: Die Schüler sollen am Beispiel eines Plasmids den Ausdruck „Neukombination von Erbgut“ erläutern können.

GZ 5: Kenntnis der Vorgänge bei der Transformation von Bakterien

Lerninhalte:

- Erklärung des Begriffs „Transformation“
- Erklärung des Begriffs „Bakterienkolonie“
- Bedeutung der Transformationslösung: DNS-Bindung an die Bakterienzelle
- Bedeutung des Hitzeschocks: Aufnahme der DNS in die Bakterienzelle
- Bedeutung der Ruhephase: Regeneration und Wachstum der Bakterien

Feinziele:

FZ 5.1: Die Schüler sollen den Begriff „Transformation“ erklären können.

FZ 5.2: Die Schüler sollen wissen, dass die Bakterien einer Kolonie erbgleich sind (= Klone).

FZ 5.3: Die Schüler sollen die Schritte des Transformationsexperimentes in der richtigen Reihenfolge nennen können.

FZ 5.4: Die Schüler sollen die Vorgänge in den einzelnen Transformationsschritten beschreiben können.

GZ 6: Überblick über die Bedeutung des Ausplattierens von Bakterien auf Nährböden

Lerninhalte:

- Erklärung des Begriffs „Ausplattieren“
- Einsatz verschiedener Nährböden zur Auslese von Bakterien
- Bedeutung des Brutschranks für die Vermehrung der Bakterien

Feinziele:

FZ 6.1: Die Schüler sollen das Prinzip des Ausplattierens erklären können.

FZ 6.2: Die Schüler sollen die Eigenschaften der verwendeten Nährböden kennen.

FZ 6.3: Die Schüler sollen wissen, dass Bakterien am besten bei 37°C wachsen.

GZ 7: Fähigkeit zur Auswertung der Ergebnisse des Ausplattierens

Lerninhalte:

- Kontrolle: Überlebensfähigkeit der kompetenten Bakterien auf LB-Medium
- Kontrolle: Wachstum von *pUCD-lacZ*-haltiger Bakterien auf LB/Amp-Medium
- Kontrolle: Überlebensfähigkeit von *pUCD*-haltigen Bakterien auf LB/Amp-Medium
- Wachstum von blauen Bakterienkolonien auf LB/Amp-Medium als Nachweis für ein erfolgreiches Experiment

Feinziele:

FZ 7.1: Die Schüler sollen die Bedeutung der verschiedenen Kontrollansätze beschreiben können.

FZ 7.2: Die Schüler sollen wissen, woran man ein erfolgreiches Experimentes erkennen kann.

GZ 8: Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit ethischen Aspekten der Erzeugung transgener Organismen

Lerninhalte:

- verschiedene Beispiele transgener Organismen
- Gegenüberstellung von Vorteilen und Gefahren der gentechnischer Anwendungen im medizinischen Bereich
- ethische Beurteilung der gentechnischen Veränderung von Lebewesen

8.3. Praktikumsunterlagen für die Schüler

8.3.1. Versuchsanleitungen für die Schüler

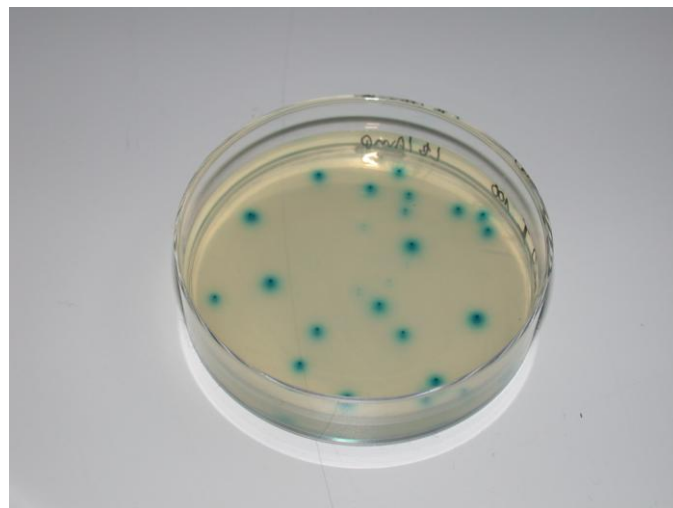


UNIVERSITÄT
BAYREUTH

**Demonstrationslabor
Bio-/Gentechnik
Lehrstuhl Didaktik der Biologie**

Gentechnik – Was ist das?

Praktikum 10. Klasse RS



Versuchsanleitungen

Allgemeine Hinweise zum Arbeiten:



- Alle Arbeiten werden mit Handschuhen durchgeführt!
- Alle Lösungen müssen vor Gebrauch schonend aufgetaut werden (Ausnahme: Schneide- und Bindeenzyme)!
- Schneideenzyme, Bindeenzyme, DNA und sämtliche Puffer müssen immer auf Eis stehen!
- Lösungen werden durch leichtes Anschnappen der Reaktionsgefäße durchgemischt!
- Lösungen müssen sich immer an der Spitze der Vorrats- oder Reaktionsgefäße befinden!
- Pipettenspitzen/ Impfösen dürfen nur einmal benutzt werden!
- Alle verwendeten Materialien werden zur Entsorgung in die dafür vorgesehenen Plastikbeutel am Arbeitsplatz gegeben!
- Reaktionszeiten müssen genau eingehalten werden!
- Reaktionsgefäße/ Agarplatten müssen genau und leserlich beschriftet werden!
- Mengenangaben sind exakt einzuhalten (auf Einstellungen der Pipetten achten)!
- Ist bei einem Arbeitsschritt ein Fehler passiert, bitte umgehend den Betreuer informieren!

Wichtig: Im Genlabor darf weder gegessen noch getrunken werden!

Prelab-Phase:

In jedem der heute durchzuführenden Arbeitsschritte werdet ihr mit so genannten **Mikropipetten** arbeiten. Diese ermöglichen es, Flüssigkeitsmengen von 2 bis 1000 μl (= 1 ml) zu pipettieren, je nach gewählter Mikropipette und eingestelltem Volumen.

Vor euch liegen folgende Mikropipetten:

- **P20 (2-20 μl)**
- **P200 (20-200 μl)**
- **P1000 (100-1000 μl)**

Durch Drehen des Einstellringes kann man die aufzunehmende Flüssigkeitsmenge einstellen. Abgelesen wird die μl -Menge von oben nach unten. Die Mikropipetten dürfen nur mit aufgesteckten Pipettenspitzen benutzt werden.

Davon gibt es mehrere Sorten:

- **gelbe Spitzen (für P20 und P200)**
- **weiße/blau Spitzen (für P1000)**

Achtung: Die Mikropipetten sind teure, empfindliche Instrumente und müssen äußerst sorgfältig behandelt werden!

Merke: Pipetten stets mit der Spitze nach unten halten! Niemals eine Pipette für verschiedene Substanzen verwenden!

Die Flüssigkeiten werden aus kleinen, eindeutig beschrifteten Vorratsgefäßen entnommen und in ebenso kleine, 1500 μl (= 1,5 ml) fassende **Reaktionsgefäße** („Eppendorf-Gefäße“) pipettiert. Zur besseren Unterscheidung haben die verwendeten Reaktionsgefäße fünf verschiedene Farben:

Weiß

Blau

Gelb

Grün

Rot

Arbeiten mit der Mikropipette:



Aufnahme der Flüssigkeit:

- Wähle eine geeignete Mikropipette aus!
- Stelle das gewünschte Volumen durch Drehen des Einstellrings (2) ein!
- Stecke eine geeignete Pipettenspitze auf!
- Drücke den Bedienungsknopf (1) bis zum ersten fühlbaren Anschlag nieder und halte ihn so!
- Tauche die Spitze in die aufzunehmende Flüssigkeit ein!
- Lasse den Bedienungsknopf langsam zurück gleiten!
- Ziehe die Spitze wieder aus der Flüssigkeit heraus!

Abgabe der Flüssigkeit:

- Lehne die Spitze an der Wand des Reaktionsgefäßes an, in das die Flüssigkeit pipettiert werden soll!
- Drücke den Bedienungsknopf langsam bis zum ersten Anschlag, warte kurz! Drücke dann weiter bis zum zweiten Anschlag, streife dabei die Flüssigkeit von der Spitze ab!
- Halte beim Herausziehen der Spitze aus dem Gefäß den Bedienungsknopf tief gedrückt, lasse ihn erst außerhalb des Gefäßes hoch gleiten!
- Wirf die Pipettenspitze anschließend durch Druck auf den seitlichen Abwurfknopf (3) in den Abfallbeutel am Platz ab!

Vorversuch 1: Pipettierübung



In der folgenden Pipettierübung wollen wir uns im Umgang mit Mikropipetten vertraut machen.

- Entnehme ein beliebiges Reaktionsgefäß aus dem vor dir stehenden Glasgefäß!
- Pipettiere folgende Mengen der Farbstofflösung aus dem Becherglas in das Reaktionsgefäß:

2 μl

4 μl

10 μl

14 μl

20 μl

50 μl

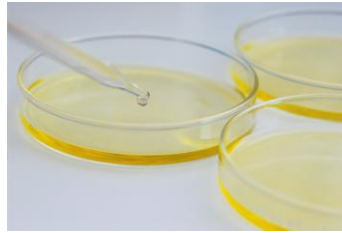
150 μl

250 μl

- Benutze dazu jeweils die Mikropipette, die am besten für diese Volumenmenge geeignet ist (z.B. 2 μl → Mikropipette 2-20 μl)!
- Stelle die Volumenmenge an der Pipette ein!
- Stecke eine passende Spitze auf (2-200 μl → gelbe Spitzen)!
- Drücke den Bedienungsknopf bis zum ersten Anschlag und tauche die Spitze in die Lösung!
- Lass den Knopf zur Aufnahme des eingestellten Volumens langsam zurück gleiten!
- Drücke zur Abgabe den Bedienungsknopf bis zum zweiten Anschlag!
- Wirf die gebrauchte Spitze anschließend in den Plastikbeutel ab!
- **Wiederhole diese Schritte bis sich alle oben aufgeführten Flüssigkeitsmengen in dem Reaktionsgefäß befinden (2 μl 250 μl)!**
- Versuche nun die gesamte Lösung (??? μl) auf einmal in das Becherglas zurück zu pipettieren.

Vorversuch 2:

Übungen zum Ausplattieren



Am Ende unseres Praktikums wollen wir Bakterien auf Nährböden (Agarplatten) wachsen lassen. Dazu muss man das Bakteriengemisch (Suspension) möglichst gleichmäßig auf der Agarplatte verteilen (ausplattieren). In der folgenden Übung wollen wir dies anstelle von Bakterien mit einer Farbstofflösung durchführen.

- Entzünde den Brenner (**Vorsicht!!**)
- Ziehe 100 µl der vorbereiteten Farbstofflösung mit einer Mikropipette auf!
- Öffne den Deckel der vor dir liegenden Agarplatte!
- Pipettiere den Farbstoff vorsichtig auf die Oberfläche der Agarplatte!
- Nimm den Glasspatel aus dem Alkohol/Wassergemisch und halte ihn über die Flamme des Brenners!
- Warte bis die Flamme am Glasspatel ausgebrannt ist und sich der Glasspatel abkühlt hat (ca. 20 sec), sonst tötest du die Bakterien ab!
- Bewege den Glasspatel vorsichtig vor und zurück und quer über die Platte!
- Schließe den Deckel und lasse die Platte am Tisch zum Trocknen stehen!

Vorversuch 3: Gießen von Agarplatten



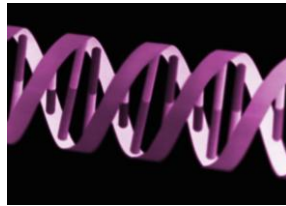
Damit wir am Ende des Praktikums Bakterien ausplattieren können, müssen wir zwei verschiedene Sorten Nährböden (Agarplatten) herstellen:

A) LB-Agarplatten

B) Amp-Agarplatten

- Beschrifte zunächst sechs leere Petrischalen auf der Unterseite:
 - Gruppen 1-4: „**LB**“
 - Gruppen 5-8: „**Amp**“
- Nimm den mit deiner Gruppennummer beschrifteten Erlenmeyerkolben aus dem Wärmeschrank! (**Vorsicht: Der Agar im Kolben erstarrt, wenn er unter 45°C abkühlt!**)
- Hebe den Deckel einer Petrischale kurz an!
- Fülle so viel Agar in die Schale, bis der Boden mit einer 4 bis 5 mm hohen Schicht bedeckt ist (Schale ist etwa halb hoch mit Agar gefüllt)!
- Schließe den Deckel sofort wieder!
- **Wiederhole diese Schritte, bis alle sechs Petrischalen gefüllt sind!**
- Lass die Platten bis zum Erstarren des Agars stehen!
- Drehe die Platten anschließend um und lass sie so noch mind. 15 min zum Trocknen stehen!

Versuch 1: Schneiden eines Plasmids mit zwei verschiedenen Schneideenzymen



Durchführung:

- Ziehe ein Paar Einmalhandschuhe an.

<i>Bedeutung der Handschuhe:</i> _____

- Nimm ein steriles, weißes Reaktionsgefäß aus dem Becherglas.
- Beschrifte den Deckel dieses Gefäßes: **S** (für „Schneiden“) und **Gruppennummer**.
- Mit sterilen, gelben Pipettenspitzen werden in dieses Reaktionsgefäß nacheinander folgende Lösungen pipettiert:
 - 2x 14 µl steriles Wasser (blaues Gefäß, Beschriftung: **W**)
 - 4 µl Puffer S (grünes Gefäß, Beschriftung: **PS**, auf Eis)
 - 4 µl Plasmid-DNA (rotes Gefäß, Beschriftung: **P**, auf Eis)
- Am **Lehrtisch** werden folgende Lösungen zugegeben:
 - 2 µl Schneideenzym I (**Lehrtisch**, auf Eis)
 - 2 µl Schneideenzym II (**Lehrtisch**, auf Eis)
- Durch Anschneiden des Reaktionsgefäßes wird die Lösung durchgemischt.
- Stelle das Gefäß zurück auf Eis.
- Dann kommen alle Proben für 45 min in das 37°C warme Wasserbad am **Lehrtisch**.

<i>Bedeutung des Wasserbads mit 37°C:</i> _____

- Danach werden die Proben 5 min in das 65°C heiße Wasserbad (**Lehrtisch**) gestellt.

<i>Bedeutung des Wasserbads mit 65°C:</i> _____

- Die Proben werden bis zur weiteren Verwendung auf Eis am **Arbeitsplatz** gelagert.

Versuch 2:
Verbindung der aufgeschnittenen Plasmid-DNA mit einem Stück
Fremd-DNA mithilfe eines Bindeenzym



Durchführung:

- Nimm ein steriles, gelbes Reaktionsgefäß aus dem Becherglas.
- Beschrifte den Deckel dieses Gefäßes: **B** („für „Binden“) und **Gruppennummer**.
- Mit sterilen, gelben Pipettenspitzen werden in dieses Reaktionsgefäß nacheinander folgende Lösungen pipettiert:
 - 10 µl steriles Wasser (blaues Gefäß, Beschriftung: **W**)
 - 2 µl Puffer B (grünes Gefäß, Beschriftung: **PB**, auf Eis)
 - 4 µl Fremd-DNA (rotes Gefäß, Beschriftung: **D**, auf Eis)
 - 2 µl Plasmidlösung aus Versuch 1 (weißes Reaktionsgefäß, Beschriftung: **S**, auf Eis)
- Am **Lehrertisch** wird folgende Lösung zugegeben:
 - 2 µl Bindeenzym (**Lehrertisch**, auf Eis)
- Durch Anschneiden des Reaktionsgefäßes wird die Lösung durchgemischt.
- Anschließend wird die Probe 3 h bei Raumtemperatur am **Arbeitsplatz** stehen gelassen.

Bedeutung des Stehen lassens bei Raumtemperatur: _____

- Die Probe wird dann über Nacht bei 4°C im Kühlschrank gelagert.

Versuch 3: Einschleusen der neu kombinierten Plasmide in Bakterienzellen (=Transformation)



Durchführung:

- Nimm ein steriles, grünes Reaktionsgefäßes aus dem Becherglas.
- Beschrifte den Deckel dieses Gefäßes auf folgende Weise: **T** (für „Transformation“) und **Gruppennummer** (Gr. 1-8) bzw. **K** (für „Kontrolle“) und **Gruppennummer** (Gr. 9-12).
- Mit einer sterilen, blauen Pipettenspitze wird in dieses Reaktionsgefäß 250 µl Transformationslösung (auf Eis, weißes Gefäß, Beschriftung: **T**) pipettiert.

Bedeutung der Transformationslösung: _____

- Mit einer sterilen Einmalöse wird eine Bakterienkolonie von der Platte abgestrichen.
- Die Öse wird in der Transformationslösung des Reaktionsgefäßes gedreht und geschüttelt, bis sich die Bakterien als sichtbares Klümpchen ablösen.
- Anschließend wird das Reaktionsgefäß auf dem Vortex-Gerät geschüttelt.
- Folgende Lösungen werden mit sterilen, gelben Spitzen zupipettiert:

Reaktionsgefäß/ Lösung	T 1-8	K 9	K 10	K 11/12
Plasmidlösung vom Vortag (gelbes Reaktionsgefäß, Beschriftung: B , <u>auf Eis</u>)	20 µl	-	-	-
Plasmid <u>mit</u> Fremd-DNA (rotes Gefäß, Beschriftung: P1 , <u>auf Eis</u>)	-	10 µl	-	-
Plasmid <u>ohne</u> Fremd-DNA (<u>auf Eis</u> , rotes Gefäß, Beschriftung: P2 , <u>auf Eis</u>)	-	-	10 µl	-
steriles Wasser (blaues Gefäß, Beschriftung: W)	-	-	-	20 µl

Bedeutung der Kontrolle (K11/12): _____

- Durch Anschneiden des Reaktionsgefäßes wird die Lösung durchgemischt.
- Anschließend wird die Probe 10 min auf Eis gestellt.
- Das Gefäß wird zum Wasserbad gebracht und für **genau 50 sec** in das 42°C warme Wasserbad gegeben.

Bedeutung des Hitzeschocks: _____

- Anschließend wird die Probe sofort für 2 min auf Eis gestellt.
- Mit einer sterilen, blauen Pipettenspitze werden 250 µl Nährmedium (weißes Gefäß, Beschriftung: N) zugegeben.
- Durch Anschneiden des Reaktionsgefäßes wird die Lösung durchgemischt.
- Anschließend wird die Probe 20 min bei Raumtemperatur gelagert.

Bedeutung der Ruhezeit und des Nährmediums: _____

Versuch 4: Vereinzeln der Bakterien (Ausplattieren)



Durchführung:

- Gr. 1-8: Nimm zwei Agarplatten mit Ampicillin (Beschriftung: **Amp**) aus dem Kühlschrank.
- Gr. 9/10/11: Nimm eine Agarplatte mit Ampicillin (Beschriftung: **Amp**) aus dem Kühlschrank.
- Gr. 12: Nimm eine Agarplatte ohne Ampicillin (Beschriftung: **LB**) aus dem Kühlschrank.
- Beschrifte die Platten auf der Unterseite:
 - Amp-Platten (Gr. 1-8): jeweils Gruppennummer und Datum, 100 μ l oder 150 μ l
 - Amp-Platten (Gr. 9/10/11): jeweils Gruppennummer und Datum, 50 μ l
 - LB-Platten (Gr. 12): jeweils Gruppennummer und Datum, 50 μ l
- Mit sterilen, gelben Pipettenspitzen werden auf diese Platten jeweils folgende Mengen Transformationslösung bzw. Kontrolllösung (grüne Reaktionsgefäße aus Versuch 3, Beschriftung: **T** bzw. **K**) aufgetragen und anschließend ausplattiert:

Gruppe/ Lösung	1-8		9/10/11	12
	Platte Amp 100 μ l	Platte Amp 150 μ l	Platte Amp 50 μ l	Platte LB 50 μ l
Transformations- lösung aus Versuch 3 (T , grünes Reaktionsgefäß)	100 μ l	150 μ l		
Kontrolllösung Aus Versuch 3 (K , grünes Reaktionsgefäß)			50 μ l	50 μ l

Bedeutung der unterschiedlichen Auftragungsmengen: _____

- Vor jedem neuen Ausplattieren wird der Glasspatel in Alkohol getaucht, abgeflammt und kurz abgekühlt.

Bedeutung des Abflammens: _____

Bedeutung des Abkühlens: _____

- Mit einem sterilen Glasspatel werden die Bakteriensuspensionen gleichmäßig auf den Platten verteilt.
- Sofort den Deckel wieder aufsetzen!

Bedeutung des sofortigen Verschließens: _____

- Anschließend werden die Agarplatten 15 min mit geschlossenem Deckel getrocknet.
- Danach werden die Platten mit dem Boden nach oben über Nacht bei 37°C in den Wärmeschrank gestellt und anschließend im Kühlschrank gelagert.

Bedeutung des Wärmeschranks: _____

8.3.2. Bildquellen der Versuchsanleitungen

Seite 205:

eigene Aufnahme

Seite 206:

ClipArt

Seite 208:

Roche Diagnostics GmbH (Hrsg., 2003). *Blue Genes*. Penzberg, S. 8.

Seite 209:

http://www.hdbio.net/ProductImages/EppendorfResearchadjustable-volumeMicropipette_22p-2M_1.jpg

Seite 210:

ClipArt

Seite 211:

ClipArt

Seite 212:

ClipArt

Seite 213:

http://biology.clc.uc.edu/fankhauser/Labs/Genetics/Buccal_DNA_isolation/buccal_dna_images/14_save_200_uL_supernatnat_P2193041.JPG

Seite 214:

http://www.die-forschenden-pharma-unternehmen.de/static/img/db/border/white_wissen_gewusst_bakterien_200_141_80.jpg

Seite 216:

ClipArt

8.4. Fragebögen

8.4.1. Fragebogen zur Erhebung von Schülervorstellungen

(Teilarbeit A)

Liebe Schülerin/ lieber Schüler!

Deine Hilfe für ein wissenschaftliches Projekt wird benötigt!

Bitte beantworte dazu die folgenden Fragen **selbstständig!** Schreibe möglichst kurze **Sätze!**

1. Was stellst du dir unter dem Begriff „Bakterien-Erbgut“ vor?

2. Was stellst du dir unter dem Begriff „Gen“ vor?

3. Was stellst du dir unter dem Begriff „Gentechnik“ vor?

4. Was stellst du dir unter dem Begriff „Klon“ vor?

5. Was stellst du dir unter dem Begriff „Enzym“ vor?

6. Was stellst du dir unter „Vererbung von Eigenschaften“ vor?

7. Was stellst du dir unter der „Übertragung von Erbgut“ vor?

8. Was stellst du dir unter der „Veränderung von Erbgut“ vor?

Wir benötigen noch folgende Angaben zu deiner Person:

Kreuze an:

Ich bin

O männlich

O weiblich.

Trage dein Alter ein:

Ich bin Jahre alt.

8.4.2. Informationsblatt und Fragebogen zu soziodemografischen Daten

(Teilarbeit B, C und D)

Fragebogen zur Evaluation des Demonstrationslabors
Bio-/ Gentechnik an der Universität Bayreuth:
Soziodemografische Daten

Vielen Dank, dass du an dieser Befragung teilnimmst!

Dieser Fragebogen gehört zu einer wissenschaftlichen Untersuchung. Daher kannst du uns sehr helfen, wenn du die Fragen so gut du kannst beantwortest!

Folgende Punkte sind für dich wichtig:

- **Deine Person bleibt geheim! An deinen Lehrer oder an deine Eltern wird kein Fragebogen zurückgegeben!**
- **Beantworte alle Fragen mit einem Kreuz, ohne lange darüber nachzudenken! Lasse keine Frage aus und konzentriere dich bis zum Schluss!**
- **Hast Du einmal falsch angekreuzt, dann male das Kästchen vollständig aus und wähle ein anderes!**
- **Antworte, was deiner Meinung nach am besten zutrifft und nicht was deine Eltern oder der Lehrer erwarten könnte!**
- **Damit aber eine Zuordnung zu den Tests erfolgen kann, musst Du den Fragebogen codieren (verschlüsseln)! Ein Beispiel siehst du ganz unten!**

Trage bitte jetzt die fehlenden Daten ein!

<u>Mein Alter:</u>				Ich bin	
<u>Meine Hausnummer:</u>				weiblich	männlich
So lauten die ersten beiden Buchstaben vom <u>Vornamen</u> meiner <u>Mutter</u> :			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
			<u>Meine Klasse:</u>		

Beispiel:

<u>Mein Alter:</u>	16			Ich bin	
<u>Meine Hausnummer:</u>	4			weiblich	männlich
So lauten die ersten beiden Buchstaben vom <u>Vornamen</u> meiner <u>Mutter</u> :	M	a	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
			<u>Meine Klasse:</u>		
			10 a		

1. Welche Wahlpflichtfächergruppe hast du gewählt?

<input type="checkbox"/> I	<input type="checkbox"/> II	<input type="checkbox"/> IIIa	<input type="checkbox"/> IIIb
----------------------------	-----------------------------	-------------------------------	-------------------------------

2. Wie häufig wurden im Unterricht in folgenden Fächern Experimente vom Lehrer durchgeführt?

im Fach Biologie:	<input type="checkbox"/> immer	<input type="checkbox"/> oft	<input type="checkbox"/> gelegentlich	<input type="checkbox"/> selten	<input type="checkbox"/> nie
im Fach Chemie:	<input type="checkbox"/> immer	<input type="checkbox"/> oft	<input type="checkbox"/> gelegentlich	<input type="checkbox"/> selten	<input type="checkbox"/> nie
im Fach Physik:	<input type="checkbox"/> immer	<input type="checkbox"/> oft	<input type="checkbox"/> gelegentlich	<input type="checkbox"/> selten	<input type="checkbox"/> nie

3. Wie häufig hast du selbst im Unterricht in folgenden Fächern Experimente durchgeführt?

im Fach Biologie:	<input type="checkbox"/> immer	<input type="checkbox"/> oft	<input type="checkbox"/> gelegentlich	<input type="checkbox"/> selten	<input type="checkbox"/> nie
im Fach Chemie:	<input type="checkbox"/> immer	<input type="checkbox"/> oft	<input type="checkbox"/> gelegentlich	<input type="checkbox"/> selten	<input type="checkbox"/> nie
im Fach Physik:	<input type="checkbox"/> immer	<input type="checkbox"/> oft	<input type="checkbox"/> gelegentlich	<input type="checkbox"/> selten	<input type="checkbox"/> nie

4. Wie häufig hast du bisher selbst Experimente außerhalb des Schulunterrichtes durchgeführt?

<input type="checkbox"/> immer	<input type="checkbox"/> oft	<input type="checkbox"/> gelegentlich	<input type="checkbox"/> selten	<input type="checkbox"/> nie
--------------------------------	------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------	------------------------------

5. Welche Noten hast du zum Halbjahreszeugnis in folgenden Fächern:

Biologie	Chemie	Physik
----------------	--------------	--------------

8.4.3. Fragebogen zu den Schülervorstellungen

(Teilarbeit B)

**Evaluation des Demonstrationslabors Bio-/ Gentechnik
an der Universität Bayreuth:
Schülervorstellungen**

Kreuze die Antwort an, die deiner Vorstellung am ehesten entspricht! Bei allen Fragen (Nr. 1–8) ist jeweils nur ein Kreuz möglich! Trifft absolut keine Vorstellung zu, kreuzt du nichts an!

1. Unter Vererbung von Eigenschaften stelle ich mir ...

- die Weitergabe von Verhaltensweisen an die Kinder vor.
- die Weitergabe von Krankheiten vor.
- die Weitergabe von erworbenen Eigenschaften an die Kinder vor.
- die Weitergabe von Erbinformationen und damit Eigenschaften an die Kinder vor.

2. Unter einem Klon stelle ich mir ...

- ein Tier mit identischen Merkmalen vor.
- einen Menschen mit identischen Merkmalen vor.
- eine künstlich hergestellte Kopie eines Lebewesens vor.
- die erblich identische Kopie eines Lebewesens vor.

3. Unter Übertragung von Erbgut stelle ich mir ...

- die Zeugung von Kindern vor.
- die Weitergabe von Eigenschaften von den Eltern an die Kinder vor.
- die Weitergabe von Erbgut an die Tochterzellen bei der Zellteilung vor.
- die Weitergabe des männlichen Erbgutes beim Geschlechtsverkehr vor.

4. Unter einem Enzym stelle ich mir einen Stoff vor, der ...

- eine chemische Reaktion auslöst.
- eine besondere Krankheit auslöst.
- so etwas Ähnliches wie ein Gen ist.
- so etwas Ähnliches wie ein Hormon ist.

5. Unter Bakterien-Erbgut stelle ich mir...

- die Vererbung von Krankheiten vor.
- die Vererbung von Bakterien vor.
- das Erbgut in Bakterienzellen vor.
- Bakterien im menschlichen Erbgut vor.

6. Unter Gentechnik stelle ich mir ...

- die Veränderung von Eigenschaften vor.
- die Vererbung von Genen vor.
- das Klonen von Genen vor.
- die Veränderung und Übertragung von Genen vor.

7. Unter Veränderung von Erbgut stelle ich mir ...

- eine Schädigung von Erbgut vor.
- einen natürlichen Vorgang bei der Zellteilung vor.
- einen natürlichen Vorgang bei der Weitergabe von Erbgut an die Kinder vor.
- einen durch äußere oder innere Einflüsse hervorgerufenen Prozess vor.

8. Unter einem Gen stelle ich mir ...

- eine Zelle vor, die die Erbanlagen, z.B. für die Haarfarbe, beinhaltet.
- ein Bakterium vor, das Eigenschaften, z.B. die Haarfarbe, überträgt.
- eine Erbanlage, z.B. für die Haarfarbe, vor.
- eine Eigenschaft, z.B. die Haarfarbe, vor.

8.4.4. Test zum Wissenserwerb

(Teilarbeit C)

**Evaluation des Demonstrationslabors Bio-/ Gentechnik
an der Universität Bayreuth:
Test zum Wissenserwerb**

Kreuze die nach deiner Meinung richtige Antwort an! Bei allen Fragen (Nr. 1–18) ist jeweils nur ein Kreuz möglich!

1. Bindeenzyme verbinden ...

- DNS-Stücke nur bei großer Kälte.
- DNS-Stücke nur bei großer Hitze.
- nur DNS-Stücke desselben Lebewesens.
- auch DNS-Stücke verschiedener Lebewesen.

2. Auf LB-Nährböden wachsen ...

- nur Ampicillin-resistente Bakterien.
- nur transformierte Bakterien.
- alle Bakterien.
- keine Bakterien.

3. Ein Plasmid enthält neukombiniertes Erbgut, wenn ...

- es mit Schneideenzymen aufgeschnitten wird.
- das zuvor herausgeschnittene DNS-Stück wieder aufgenommen wurde.
- ein Stück Fremd-DNS aus dem Plasmid herausgeschnitten wurde.
- ein Stück Fremd-DNS in das Plasmid aufgenommen wurde.

4. Schneideenzyme schneiden ...

- alle gleich, aber entstammen unterschiedlichen Lebewesen.
- jedes Mal an einer anderen Stelle.
- unterschiedlich schnell.
- je nach Herkunft an verschiedenen Stellen.

5. Die richtige Reihenfolge der Arbeitsschritte bei der Transformation ist ...

- Hitzeschock, Zugabe von Transformationslösung und Ruhephase.
- Zugabe von Transformationslösung, Hitzeschock und Ruhephase.
- Zugabe von Transformationslösung, Ruhephase und Hitzeschock.
- Ruhephase, Hitzeschock und Zugabe von Transformationslösung.

6. Blaue Kolonien wachsen, wenn ...

- die Plasmide das Stück Fremd-DNS enthalten.
- die Plasmide nicht das Stück Fremd-DNS enthalten.
- die Bakterien die Plasmide aufgenommen haben.
- die Bakterien keine Plasmide aufgenommen haben.

7. Transformation ist ...

- die Aufnahme der DNS in die Bakterienzelle.
- ein verstärktes Wachstum der Bakterien.
- die Gestaltänderung von Bakterien.
- die DNS-Bindung an die Bakterienzelle.

8. Gentechnik ist die Wissenschaft, die sich hauptsächlich beschäftigt mit der ...

- Vermehrung von Erbgut.
- Veränderung von Erbgut.
- Weitergabe von Erbgut.
- Beschreibung von Erbgut.

9. Bei der Ausplattierung auf LB-Platten wird überprüft, ob die Bakterien ...

- durch das Experiment geschädigt wurden.
- Ampicillin-resistent sind.
- ein neukombiniertes Erbgut besitzen.
- das Plasmid aufgenommen haben.

10. DNS-Stücke lassen sich nur verbinden, wenn ...

- sie mit denselben Schneideenzymen geschnitten wurden.
- sie vorher nicht geschnitten wurden.
- sie mit einem einzigen Schneideenzym geschnitten wurden.
- mindestens zwei verschiedene Schneideenzyme eingesetzt wurden.

11. Bakterienkolonien enthalten ...

- ein besonders großes Bakterium.
- plasmidhaltige Bakterien.
- Bakterien mit dem gleichen Erbgut.
- Bakterien mit verschiedenem Erbgut.

12. Die verwendeten Bakterien wachsen und vermehren sich am besten ...

- bei 37°C.
- bei 20°C.
- bei -20°C.
- bei 4°C.

13. Bei der Transformation müssen die Bakterien zur Aufnahme von Plasmiden ...

- auf Agarplatten ausgestrichen werden.
- im Eisbad abgekühlt werden.
- bei Raumtemperatur gehalten werden.
- kurz erhitzt werden.

14. Beim Ausplattieren werden die Bakterien ...

- in ein flüssiges Nährmedium übertragen.
- abgetötet.
- zerteilt.
- vereinzelt.

15. Schneideenzyme können ...

- die DNS aller Lebewesen schneiden.
- nur menschliche DNS schneiden.
- nur bakterielle DNS schneiden.
- nur Plasmide schneiden.

16. Die richtige Reihenfolge der Arbeitsschritte eines gentechnischen Experimentes ist ...

- Schneiden von DNS, Zusammenfügen von DNS, Isolation von DNS und Transformation.
- Zusammenfügen von DNS, Transformation, Isolation von DNS und Schneiden von DNS.
- Isolation von DNS, Schneiden von DNS, Zusammenfügen von DNS und Transformation.
- Transformation, Isolation von DNS, Schneiden von DNS und Zusammenfügen von DNS.

17. Ein Plasmid ist ...

- die gesamte DNS von Bakterien.
- ein besonderes Stück DNS bei Bakterien.
- die ringförmige DNS bei allen Lebewesen.
- ein besonderes Stück menschlicher DNS.

18. Die verwendeten Schneideenzyme arbeiten am besten ...

- bei 4°C.
- bei 20°C.
- bei 65°C.
- bei 37°C.

8.4.5. Fragebogen zur kognitiven Belastung

(Teilarbeit C)

8.4.6. Fragebogen zu den Unterrichtsemotionen (situationsbezogene Emotionen)

(Teilarbeit D)

**Fragebogen zur Evaluation des Demonstrationslabors Bio-/ Gentechnik
an der Universität Bayreuth:
Situationsbezogene Emotionen**

Denke an den heutigen Unterricht und kreuze bitte an!

	sehr groß	groß	mittel- mäßig	gering	sehr gering
1. Der Unterricht hat mich interessiert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Der Unterricht hat mir Freude gemacht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Ich fand das Thema wichtig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Ich habe mich gelangweilt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Ich habe mich im Unterricht unter Druck gefühlt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Ich war mit dem Unterricht zufrieden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Der Unterricht hat mir Angst gemacht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Ich möchte noch mehr über das Thema erfahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Was ich über das Thema erfahren habe, bringt mir etwas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Es war für mich guter Unterricht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Der Unterricht hat mir Spaß gemacht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Im Unterricht haben mich einige Dinge beunruhigt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Der Unterricht hat mich verunsichert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8.4.7. Fragebogen zum Interesse an der Gentechnik

(Teilarbeit D)

**Fragebogen zur Evaluation des Demonstrationslabors Bio-/ Gentechnik
an der Universität Bayreuth:
Interesse an der Gentechnik**

Bitte bewerte jeweils dein Interesse an den folgenden Themen!

Wie groß ist dein Interesse daran ...

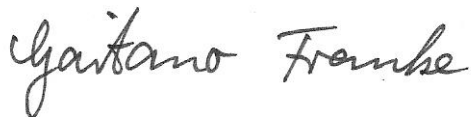
	sehr groß	groß	mittel- mäßig	gering	sehr gering
1. Bakterien-DNS zu vermehren?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. fremdes Erbgut in ein Bakterium einzubringen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. über die ethische Beurteilung von gentechnischen Anwendungen zu diskutieren?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. mehr über die Erfolge der medizinischen Anwendungen beim Menschen zu erfahren?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. mehr über die gentechnische Veränderung von Keimzellen zur Verhinderung von Erbkrankheiten zu erfahren?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. mehr über die Entwicklung gentechnisch hergestellter Medikamente zu erfahren?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. über das Verbot bestimmter gentechnischer Anwendungen in Deutschland zu diskutieren?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. mehr über die aktive Veränderung von defektem Erbgut beim Menschen zu erfahren?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Bakterien-DNS zu zerschneiden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. über die moralische Begründung von Grenzen der Gentechnik zu diskutieren?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. verschiedene DNS-Stücke miteinander zu verknüpfen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9. Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt zu haben.

Ferner erkläre ich, dass ich weder an der Universität Bayreuth noch an einer anderen Hochschule versucht habe, eine Dissertation einzureichen, oder mich einer Promotionsprüfung zu unterziehen.

Bayreuth, 08. Februar 2010

A handwritten signature in black ink, reading "Gaitano Franke". The script is cursive and fluid, with the first name "Gaitano" written in a larger, more prominent hand than the last name "Franke".

Gaitano Franke

