

Universität Bayreuth
Lehrstuhl Didaktik der Biologie

**Unterricht zum Thema Grüne Gentechnik
im außerschulischen Lernort Labor:
Schülervorstellungen, unterrichtliche Umsetzung von
Schülerdiskussionen und geschlechtsspezifische Unterschiede**

Dissertation

zur Erlangung des Grades
- Dr. rer. nat. –
der Fakultät Biologie, Chemie und Geowissenschaften
an der Universität Bayreuth

vorgelegt von
Dipl.-Biologin

Marlen Goldschmidt
2014

Diese Arbeit wurde von August 2009 bis August 2014 am Lehrstuhl für Didaktik der Biologie an der Universität Bayreuth unter Betreuung von Herrn Prof. Dr. Franz X. Bogner angefertigt.

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.).

Dissertation eingereicht am:	05.09.2014
Zulassung durch die Promotionskommission:	17.09.2014
Wissenschaftliches Kolloquium:	09.01.2015

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Rhett Kempe

Prüfungsausschuss:

Prof. Dr. Franz X. Bogner	(Erstgutachter)
Prof. Dr. Ludwig Haag	(Zweitgutachter)
Prof. Dr. Olaf Stemmann	(Vorsitz)
Prof. Dr. Stephan Clemens	

Inhaltsverzeichnis

A. Summary	7
B. Zusammenfassung	9
C. Ausführliche Zusammenfassung	11
C. 1 Einleitung	11
<i>Gentechnik als socio-scientific issue</i>	11
<i>Schulische Bildungsaufgaben zum Thema Gentechnik</i>	12
<i>Der außerschulische Lernort Labor</i>	14
<i>Theoretischer Hintergrund</i>	15
C. 2 Unterrichtsdesign.....	17
C. 3 Studiendesign und Fragestellungen.....	19
C. 4 Methodik: Datenerhebung und –auswertung	21
C. 5 Ergebnisse und Diskussion	26
C. 6 Schlussfolgerungen und Ausblick	30
D. Literaturverzeichnis der Zusammenfassung	32
E. Teilarbeiten	39
E. 1 Publikationsliste	39
E. 2 Darstellung des Eigenanteils	40
E. 3 Teilarbeit A.....	41
E. 4 Teilarbeit B.....	75
E. 5 Teilarbeit C.....	85
E. 6 Teilarbeit D	95
F. Anhang	135
Fragebögen.....	136
Versuchsanleitung	143
Texte zur Vorbereitung der Schüler-zentrierten Diskussion	144
Textaufgabe.....	149
(Eidesstattliche) Versicherungen und Erklärungen	153
Danksagung	155

A. Summary

Plant genetic engineering is a highly topical and controversially discussed issue which needs special consideration in educational contexts. This socio-scientific issue is particularly suitable for fostering students' decision-making competence and communication competencies: This context provides the students the opportunity to gain relevant factual knowledge, to learn to face controversial public discussion, to assess various potential solutions, and to find and communicate their individual point of view. Interactive and student-centered approaches (e.g., discussion and role play) are particularly suitable for this educational goal, but such approaches are somewhat difficult to implement in everyday school life. To assess the benefits and risks of plant genetic engineering, it is necessary for the students to develop a connection to current agricultural practices and worldwide food production. However, this is difficult, since the alienation of the younger generation from agriculture continues to grow (Ernst & Theimer, 2011). Consequently, students' actual preconceptions within this context are relevant for lesson preparation. Previous empirical studies suggest that addressing students' preconceptions during instruction has a positive effect (Franke & Bogner, 2011).

Within the normal school context, the issue of plant genetic engineering can only be considered on the theoretical level. Providing appropriate practical experience at school is unfeasible due to resource and time limitations. Therefore, outreach laboratories are becoming increasingly popular to allow students to gain practical laboratory experience while also promoting the development of students' scientific literacy. Within the framework of this research study, an educational intervention about plant genetic engineering was developed for 10th graders in the final class of vocational secondary school. The project was realized in the outreach laboratory of the University of Bayreuth. The educational intervention was based on previous studies (Franke & Bogner, 2011; Scharfenberg & Bogner, 2010, 2011) and met the curricular guidelines for the target group. The intervention included three phases: a theoretical phase, a hands-on experimental phase, and a discussion phase. Within the discussion phase, different treatments were employed to compare different instructional approaches (teacher-guided versus student-centered approaches). A three-step design (pre-, post-, and retention test) was used for the empirical evaluation analysis. Quantitative as well as qualitative data were collected from 29 classes with 583 students in total. The data collection included the students' preconceptions with regard to agricultural practices, their subjective and objective knowledge, their mental effort and intrinsic motivation, as well as their hopes and fears regarding plant genetic engineering.

In accordance with the *Cognitive Load Theory* (Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998), different instructional approaches in the discussion phase were compared with respect to cognitive load, cognitive achievement, and instructional efficiency (Paas & Van Merriënboer, 1993; Scharfenberg & Bogner, 2011) (study A). Furthermore, the students' hopes and fears

(study B) as well as their preconceptions regarding agricultural practices (study C) were interpreted by qualitative data analysis to reveal potential recommendations for instruction (Franke, Scharfenberg, & Bogner, 2013) in accordance with the *Conceptual Change Theory* (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982). The relation between intrinsic motivation and cognitive achievement through the educational intervention was investigated, and gender differences were analyzed with respect to cognitive achievement and instructional efficiency (study D).

The results indicated that the highest instructional efficiency was achieved with the teacher-guided discussion approach (study A). Students' achievement was probably enhanced through the teacher's effective and structured guidance. To support student-centered approaches and students' active engagement (e.g., Bennett, Hogarth, Lubben, Campbell, & Robinson, 2010), a step-by-step progression from teacher-centered to student-centered approaches should be made (Day & Bryce, 2011).

The students' hopes and fears regarding plant genetic engineering (study B) were generally based on the common arguments given in the public debate (economic advantages for farmers and customers, the fight against world hunger, unpredictable long-term effects, and hazardous risks). The results revealed useful instructional recommendations for facilitating students' critical self-reflection and tolerance (Reitschert & Hössle, 2007).

The students' preconceptions concerning agricultural practices (study C) were very simple and stereotypic (cultivation of plants, animal husbandry). Other aspects of modern agriculture (e.g., biogas production) were rarely mentioned. These results are possibly associated with the students' alienation from agricultural practices and food production. Therefore, education might be necessary to address the problem of alienation (see above).

The cognitive achievement gained through the educational intervention was positively influenced by the students' intrinsic motivation (study D). Moreover, the cognitive achievement and the instructional efficiency were higher for the female students. The active engagement and practical laboratory activities were probably more beneficial for the female students' learning. Therefore, improving laboratory experiences in biology education is recommended to overcome the still-existing gender differences (Fortus & Vedder-Weiss, 2014).

In conclusion, the results indicate that the educational intervention was suitable for connecting knowledge gain to practical laboratory experiences and a discussion about plant genetic engineering. The results revealed the students' preconceptions and suggest some useful implications for instruction within this context. Furthermore, the study underscores the need for practical laboratory experience in biology education.

B. Zusammenfassung

Die Grüne Gentechnik als ein hochaktuelles, gesellschaftlich kontrovers diskutiertes Thema bedarf einer konsequenten Thematisierung im heutigen Schulunterricht. Jenseits der gesellschaftlichen Brisanz eignet sich dieser Themenbereich in besonderer Weise zur Förderung der Bewertungs- und Kommunikationskompetenz, wenn Schüler dabei nicht nur relevantes Fachwissen erwerben, sondern sich auch mit öffentlichen Diskussionen auseinandersetzen, mögliche Handlungsoptionen durchspielen und letztendlich einen eigenen individuellen Standpunkt finden und vertreten. Für diesen Bildungsauftrag ist der Einsatz interaktiver und Schüler-zentrierter Unterrichtsansätze (z.B. Diskussionen und Rollenspiele) hervorragend geeignet, allerdings in seiner Umsetzung im schulischen Alltag oftmals schwierig. Zur Bewertung von Chancen und Risiken der Grünen Gentechnik gehört ein konsequenter Bezug zur landwirtschaftlichen Praxis und weltweiten Nahrungsmittelproduktion. Dieser gestaltet sich jedoch immer schwieriger, da sich heutige Schüler-Generationen zunehmend von der Landwirtschaft entfernen (Ernst & Theimer, 2011): Entsprechende aktuelle Schülervorstellungen sind daher von großer Relevanz für eine Unterrichtsgestaltung. Frühere Studien haben die positiven Auswirkungen des Einbezugs von Schülervorstellungen in den Unterricht empirisch belegt (Franke & Bogner, 2011).

Das Thema Gentechnik kann im konventionellen Unterricht meist nur auf theoretischer Ebene behandelt werden, praktische Versuche in diesem Kontext sind in der Schule aus finanziellen oder organisatorischen Gründen oft nicht möglich. Dadurch gewinnt der außerschulische Lernort Labor an zusätzlicher Bedeutung, um Schülern eigene praktische Erfahrungen zu ermöglichen und hierdurch eine ganzheitliche naturwissenschaftliche Grundbildung (*scientific literacy*) zu fördern. Im Rahmen dieser Promotionsarbeit wurde ein experimentelles Unterrichtsmodul zum Thema Grüne Gentechnik für die zehnte Jahrgangsstufe der Realschule entwickelt und im Bayreuther Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik implementiert. Es baut auf früheren Arbeiten auf (Franke & Bogner, 2011; Scharfenberg & Bogner, 2010, 2011), deckt lehrplankonforme Inhalte ab und integriert eine Theorie-, eine Praxis- und eine Diskussionsphase; letztere wurde zwischen verschiedenen instruktionalen Ansätzen (Lehrer- versus Schüler-zentrierte Diskussionsformen) variiert. Für die empirische Evaluationsanalyse wurden im Rahmen eines dreistufigen Testdesigns (Vor-, Nach-, Behaltenstest) quantitative und qualitative Daten von 583 Schülern aus 29 Klassen erhoben. Dabei wurden Schülervorstellungen zur landwirtschaftlichen Praxis ermittelt, das subjektive und objektive Wissen evaluiert, die kognitive Auslastung der Lernenden betrachtet sowie Daten zur intrinsischen Motivation und zu den Hoffnungen und Ängsten der Schüler gegenüber der Grünen Gentechnik gesammelt.

Im Zusammenhang mit der *Cognitive Load Theory* (Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998) wurden verschiedene instruktionale Ansätze in der Diskussionsphase mit Bezug zur kognitiven Leistung und Auslastung sowie zur instruktionalen Effizienz (Paas & Van Merriënboer, 1993;

Scharfenberg & Bogner, 2011) bewertet (Teilarbeit A). Außerdem wurden Hoffnungen und Ängste von Schülern (Teilarbeit B) sowie Schülervorstellungen zur landwirtschaftlichen Praxis (Teilarbeit C) inhaltsanalytisch untersucht, um im Zusammenhang mit der *Conceptual Change Theory* (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982) Anknüpfungspunkte für den Unterricht aufzuzeigen (Franke, Scharfenberg, & Bogner, 2013). Im Hinblick auf das Unterrichtsmodul wurde zudem der Einfluss intrinsischer Motivation auf den Lernerfolg untersucht und geschlechtsspezifische Unterschiede im Zusammenhang mit dem Wissenszuwachs und der instruktionalen Effizienz analysiert (Teilarbeit D).

Die Ergebnisse zeigten, dass die instruktionale Effizienz bei der Lehrer-zentrierten Diskussionsform am höchsten war (Teilarbeit A). Die klare Strukturiertheit und die moderierende Rolle des Lehrers führten dabei wohl zu einer optimierten Wissensvermittlung. Um der Forderung nach Schüler-zentrierten Ansätzen im Unterricht nachzukommen (z.B. Bennett, Hogarth, Lubben, Campbell, & Robinson, 2010) und eine aktivere Beteiligung der Schüler zu fördern, bedarf es einer schrittweisen Öffnung der Lehrer-zentrierten hin zu Schüler-zentrierten Unterrichtsansätzen (Day & Bryce, 2011).

Hoffnungen und Ängste von Schülern gegenüber der Grüner Gentechnik (Teilarbeit B) orientieren sich inhaltlich an den in der Öffentlichkeit diskutierten Argumenten und Standpunkten (ökonomischen Vorteile für Erzeuger und Verbraucher, Welthungerproblem, unvorhersehbaren Langzeitfolgen, generellen Risiken für Mensch und Natur). Die Ergebnisse zeigen hilfreiche Ansatzpunkte für den Unterricht, um die Fähigkeit zur eigenen kritischen Reflexion und die Erweiterung des Toleranzrahmens zu fördern (Reitschert & Hössle, 2007).

Die ermittelten Vorstellungen der Schüler zur landwirtschaftlichen Praxis (Teilarbeit C) entsprachen einem eher einfachen und stereotypen Bild (Pflanzenanbau, Tierhaltung). Aspekte der modernen Landwirtschaft (z.B. Biogasherstellung) wurden nur selten genannt, was eine Entfremdung der Schüler von der Landwirtschaft und Nahrungsmittelproduktion sowie die Notwendigkeit von Bildungsmaßnahmen in diesem Bereich verdeutlichen kann (siehe oben).

Der Lernerfolg im Rahmen des Unterrichtsmoduls (Teilarbeit D) zeigte eine Abhängigkeit von der intrinsischen Motivation. Außerdem waren der Wissenszuwachs sowie die instruktionale Effizienz bei Mädchen deutlich höher. Die aktive Beteiligung und die praktischen Erfahrungen im Labor begünstigten vermutlich ihr Lernen, weshalb eine Intensivierung von praktischen Laborerfahrungen im Biologieunterricht empfohlen wird, um die noch immer existierenden geschlechtsspezifischen Unterschiede zu überwinden (Fortus & Vedder-Weiss, 2014).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das entwickelte Unterrichtsmodul Fachwissen mit eigenen praktischen Erfahrungen schülergerecht vermitteln und mit einer Diskussion zum Thema Grüne Gentechnik gewinnbringend verknüpfen konnte. Die erzielten Ergebnisse zeigen relevante Schülervorstellungen und deuten auf Konsequenzen für die unterrichtliche Umsetzung des Themas hin. Außerdem wird die Relevanz von praktischen Laborerfahrungen im Biologieunterricht bekräftigt.

C. Ausführliche Zusammenfassung

C. 1 Einleitung

Gentechnik als socio-scientific issue

Die moderne Biotechnologie arbeitet mit zahlreichen innovativen gentechnischen Methoden und Verfahren. Obwohl bereits länger in der Forschung genutzt, hält die Gentechnik seit Mitte der 90er Jahre zunehmend Einzug in das tägliche Leben der Menschen. Mittlerweile gibt es verschiedenste Anwendungsbereiche, wie z.B. die Grüne Gentechnik, auch Agrogentechnik genannt (Anwendung bei Pflanzen), die Rote Gentechnik (medizinische Anwendung) und die Weiße Gentechnik (Anwendung für industrielle Produktionsverfahren). Dabei ist die weltweite kommerzielle Nutzung gentechnisch veränderter (gv) Erzeugnisse und Anwendungen besonders im Bereich der Grünen Gentechnik in den letzten Jahren rapide angestiegen (Maghari & Ardekani, 2011). Die Anbauflächen wurden seit 1996 sogar um das Hundertfache auf insgesamt über 175 Mio. ha vergrößert (James, 2013). Die Hauptanbauggebiete lagen im Jahr 2013 in den USA, Brasilien und Argentinien, wobei hauptsächlich gv Sojabohnen, Mais, Baumwolle und Raps kultiviert wurden (James, 2013). In der Europäischen Union unterliegen die Zulassung und der kommerzielle Anbau von gv Pflanzen strengen Regelungen (Richtlinie 2001/18/EG, 2001; Verordnung Nr. 1829/2003/EG, 2003). Die europäischen Anbauflächen (137.000 ha) liegen hauptsächlich in Spanien sowie vier weiteren Staaten (James, 2013), während in vielen anderen Mitgliedstaaten auf gv Pflanzen verzichtet wird. In Deutschland gibt es derzeit keinen kommerziellen Anbau, die bisherigen Genehmigungen beschränkten sich auf zwei Pflanzen: Der gv Mais MON 810 (Monsanto) war von 2005 bis 2008 zum Anbau zugelassen, die Genehmigung der gv Kartoffel Amflora (BASF) bestand von 2010 bis 2013.

Der methodische Fortschritt, der durch die zahlreichen Anwendungen der Gentechnik realisiert wird, ist unbestritten. Allerdings gab es bereits seit den ersten Einsätzen gentechnischer Methoden viele Kritiker. In den letzten zwei Jahrzehnten wurden die kontroversen Diskussionen über die Gentechnik nicht nur zwischen Fachwissenschaftlern geführt, sondern haben sich in der Zwischenzeit auf die gesamte Bevölkerung ausgedehnt und werden zudem von einer ständigen medialen Präsenz begleitet: Die Gentechnik hat sich zu einem sogenannten *socio-scientific issue*¹ entwickelt (Ekborg, 2008). Socio-scientific issues sind Sachverhalte, die ihren Ursprung in der wissenschaftlichen Forschung haben, allerdings in ihrem Umfang und ihrer Tragweite die gesamte Gesellschaft betreffen. Solche Sachverhalte lassen sich meist anhand von drei Kriterien charakterisieren (Levinson, 2006): Verschiedene Personengruppen sind in den Sachverhalt involviert (1), wobei diese Gruppen unterschiedlichen Voraussetzungen unterliegen oder gegensätzliche Standpunkte vertreten und zudem verschiedene Lösungsansätze verfolgen (2). Die verschiedenen Lösungsansätze orientieren sich dabei nicht ausschließlich an

¹ Fachterminus auf Studien des englischen Sprachraums basierend ohne deutsche Entsprechung.

wissenschaftlich nachgewiesenen Ergebnissen und Fakten (3). Die Grüne Gentechnik ist ein Musterbeispiel eines socio-scientific issues, da in der seit langem geführten öffentlichen Diskussion nicht nur ökonomische und politische Fragen, sondern auch ethische und soziale Aspekte eine Rolle spielen. Auf der einen Seite werden von den Befürwortern vor allem die ökonomischen Vorteile für Erzeuger und Verbraucher propagiert. Dabei sollen die Ertragssteigerung und die Optimierung der Umweltansprüche von Kulturpflanzen zusammen mit der Verbesserung von Inhaltsstoffen vor allem zur Lösung des Welthungerproblems beitragen (Knight, 2009). Auf der anderen Seite warnen Kritiker vor unvorhersehbaren Langzeitfolgen und Risiken für Mensch und Natur, wie z.B. Toleranz- und Resistenzentwicklung (Knight, 2009).

Schulische Bildungsaufgaben zum Thema Gentechnik

Im Gegensatz zu anderen Ländern, wie den USA (Sjöberg, 2008), ist die Diskussion über die Grüne Gentechnik und den Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen in Deutschland von besonderem öffentlichen Interesse. Dabei ist die breite Bevölkerung stark involviert und findet in den Massenmedien umfassende und teilweise polarisierende Informationen über diese Thematik. Eine solche Entwicklung zieht natürlich Auswirkungen im Bildungsbereich nach sich und bedingt die Notwendigkeit, sich bereits im Biologieunterricht um eine umfassende Auseinandersetzung mit dem Thema zu bemühen. Die Inhalte des Fachgebietes sind Bestandteil des Lehrplans der zehnten Jahrgangsstufe der Realschule. Im Rahmen des Themenbereiches Genetik sollen zunächst Grundlagen vermittelt werden, darauf aufbauend schließt sich der Schwerpunkt „Angewandte Genetik“ an, wobei im Speziellen auf die Prinzipien und Möglichkeiten der Gentechnik sowie deren Chancen und Risiken eingegangen wird. Der Lehrplan fordert außerdem, dass sich die Schülerinnen und Schüler² „in dieser Jahrgangsstufe mit Themen auseinandersetzen, die ihnen exemplarisch die besondere Verantwortung des Menschen im Umgang mit biologischen Erkenntnissen verdeutlichen“ (B 10.2 Genetik; Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst, 2008, S. 530). Dabei steht die Bewertung biologischer Sachverhalte im fachlichen sowie im gesellschaftlichen Kontext im Mittelpunkt, ein Bildungsauftrag, der in den Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss explizit formuliert wurde (Sekretariat der Kultusministerkonferenz (KMK), 2005). Ziel ist es, dass Schüler auf der Grundlage eines im Unterricht erworbenen Fachwissens Kompetenzen entwickeln, um sich selbst mit dem kontrovers geführten gesellschaftlichen Diskurs auseinanderzusetzen, Bewertungsstrategien zu entwerfen und verschiedene Handlungsoptionen zu prüfen. Letztendlich sollen sie sich unter Berücksichtigung individueller und gesellschaftlich verhandelbarer Werte einen eigenen Standpunkt bilden, diesen begründen und vor anderen vertreten können. Im Rahmen dessen soll auch die Fähigkeit des Perspektivwechsels zwischen der eigenen Rolle und der anderer Menschen geübt sowie die Toleranz gegenüber anderen Meinungen gefördert werden. Somit trägt der Biologieunterricht

² Zur Verbesserung der Lesbarkeit wird im Folgenden der Ausdruck „Schüler“ für beide Geschlechter verwendet.

dazu bei, „die Schüler auf das Leben als verantwortlich handelnde Erwachsene vorzubereiten“ (B 10.2 Genetik; Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst, 2008, S. 530).

Um im Unterricht eine kritische Auseinandersetzung mit dem Thema Gentechnik und der gesellschaftlichen Debatte zu fördern, sollten Lehrerinnen und Lehrer³ zunächst das relevante Fachwissen vermitteln und anschließend versuchen, die vielschichtigen und kontroversen Aspekte des Themas mit den Schülern zu erörtern. Welche Unterrichtsansätze sich dazu am besten eignen, wird derzeit allerdings noch diskutiert: Zahlreiche Studien fordern einen verstärkten Einsatz von interaktiven und vor allem Schüler-zentrierten Ansätzen, wie Diskussionen und Rollenspielen in naturwissenschaftlichen Fächern (Bennett, Hogarth, Lubben, Campbell, & Robinson, 2010; Taraban, Box, Myers, Pollard, & Bowen, 2007; Wells & Arauz, 2006). Allerdings sind solche interaktiven Ansätze im Zusammenhang mit socio-scientific issues selten und, wenn überhaupt vorhanden, eher Lehrer-zentriert, individuelle Standpunkte von Schülern werden oftmals überhaupt nicht thematisiert (Day & Bryce, 2011). Zudem vermeiden viele Lehrer den Einsatz Schüler-zentrierter Ansätze, weil diese sehr zeitintensiv sind und eine umfangreiche Vorbereitung benötigen. Darüber hinaus müssen Lehrer dabei aus ihrer gewohnten Rolle als Wissensvermittler in eine Art Moderatorenrolle schlüpfen und beispielsweise eine lebhafte Diskussion unter Einbezug aller Schüler gestalten, diese Rolle ist vielen Lehrern jedoch fremd (Gray & Bryce, 2006). Aktuelle Studien zeigen, dass Unterrichtsgespräche meist einem dreistufigen und Lehrer-zentrierten Schema folgen (Lehesvuori, Viiri, Rasku-Puttonen, Moate, & Helaakoski, 2013): Der Lehrer wirft einen Diskussionspunkt auf (*initiation*), die Schüler reagieren und äußern gegebenenfalls ihre eigenen Meinungen (*response*), woraufhin der Lehrer dazu eine kurze Rückmeldung oder Bewertung abgibt (*feedback*). Dieses dreistufige Schema ist seit Längerem bekannt und wird in vielen Studien als IRF sequence beschrieben (Sinclair & Coulthard, 1975). Es hilft Lehrern die Kommunikation im Unterricht zu kontrollieren und Diskussionen in bestimmte Richtungen zu lenken, allerdings sind die Möglichkeiten der Schüler sich gegenseitig auszutauschen und miteinander zu diskutieren dabei sehr begrenzt.

Empirische Studien, die verschiedene Unterrichtsansätze vergleichen, zeigen unterschiedliche Ergebnisse (Granger et al., 2012): Gerstner und Bogner (2009) sowie Chang (2003) zeigten beispielsweise, dass Lehrer-zentrierte Ansätze in Bezug auf den Wissenszuwachs effektiver als Schüler-zentrierte Ansätze sind, während andere Studien (z.B. Akcay & Yager, 2010; Hsu, 2008; Odom, Stoddard, & LaNasa, 2007) das Gegenteil bekräftigten. Allerdings gibt es keine Studien, die sich direkt auf die Diskussion von socio-scientific issues im Unterricht beziehen (Levinson, 2006).

³ Zur Verbesserung der Lesbarkeit wird im Folgenden der Ausdruck „Lehrer“ für beide Geschlechter verwendet.

Der außerschulische Lernort Labor

Die oben geschilderten Aspekte bilden den Ausgangspunkt für das Unterrichtsmodul, das im Rahmen dieser Studie entwickelt und im Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik der Universität Bayreuth implementiert wurde. Das Demonstrationslabor bietet seinen Besuchern als außerschulischer Lernort die Gelegenheit in authentischer Umgebung zu lernen und Versuche durchzuführen, die z.B. aus finanziellen oder organisatorischen Gründen in der Schule nicht realisierbar sind. Oftmals können sich Schüler im normalen Unterricht nur theoretisch mit dem Thema Gentechnik auseinandersetzen, während der außerschulische Lernort Labor authentische und vor allem praktische Lernerfahrungen jenseits des konventionellen Unterrichts ermöglicht. Außerschulische Lernorte fördern zudem ein kontextorientiertes Lernen, wobei die Entwicklung positiver Einstellungen zu den Naturwissenschaften unterstützt (Bennett, Lubben, & Hogarth, 2007) und das Interesse an fachlichen Inhalten erhöht (Millar, 2005) werden soll. Dabei wird die Verständlichkeit von Fachinhalten verbessert, indem sie in einem authentischen Rahmen verdeutlicht und veranschaulicht werden und zudem direkt anwendbar sind (Gilbert, 2006). Zusätzlich werden im außerschulischen Lernort Labor auch andere wichtige Kompetenzen geschult, wie z.B. die Anwendung fachgemäßer Arbeitsweisen, die Kommunikationsfähigkeit sowie die Zusammenarbeit in verschiedenen Sozialformen (kollaboratives Lernen; Lord, 2001), diese sind ebenfalls in den Bildungsstandards verankert (KMK, 2005). In vielen Studien wird die Relevanz praktischer Erfahrungen im Labor verdeutlicht und mit dem Ziel einer ganzheitlichen naturwissenschaftlichen Grundbildung (*scientific literacy*) in Verbindung gebracht (z.B. Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007; Lee & Burkam, 1996).

Evaluationsstudien lassen sich im Lernort Labor aufgrund einer gut kontrollierbaren Lehr-Lern-Situation sehr gut umsetzen. Bisherige Forschungsergebnisse zeigten beispielsweise eine höhere Akzeptanz eines Experimentalunterrichts im Lernort Labor im Vergleich zu einer herkömmlichen Unterrichtssituation (Scharfenberg, 2005) sowie die Interesse fördernde Wirkung dieser Lernumgebung (Glowinski, 2007). Der positive Einfluss des Einbezuges von Schülervorstellungen in den Laborunterricht sowie die Möglichkeit des Konzeptwechsels hin zu einer fachwissenschaftlichen Vorstellung wurden von Franke (2010) bestätigt. Außerdem zeigte Scharfenberg (2005), dass Schüler vorwissensbezogen im Lernort Labor mehr Wissen erwerben, was die Bedeutung des Vorwissens bzw. die Relevanz einer adäquaten Vorbereitung des Unterrichts im außerschulischen Lernort verdeutlicht. Untersuchungen, die sich explizit mit der Thematisierung von socio-scientific issues im Lernort Labor auseinandersetzen, gibt es bisher kaum. Im Modellprojekt „HannoverGen“ (2008-2010)⁴ wurden beispielsweise Unterrichtsmodule zum Thema Grüne Gentechnik in einem Schülerlabor angeboten, die begleitende Forschung zielte vor allem auf die Bestätigung und den Ausbau eines Kompetenzmodells zur ethischen Bewertung im Biologieunterricht (Reitschert & Hössle, 2007) ab. Studien, die den kontextorientierten und praktischen Unterricht im Lernort Labor mit einer

⁴ <http://www.biodidaktik.uni-oldenburg.de/34554.html> [Zugriff 15.11.2013]

anschließenden Diskussion über die Chancen und Risiken der Grünen Gentechnik verbinden, gibt es bisher nicht. Auch im Hinblick auf geschlechtsspezifische Unterschiede gibt es bisher kaum Studien im Kontext des außerschulischen Lernortes Labor. Aktuelle Untersuchungen weisen aber auf die immer noch existierenden geschlechtsspezifischen Unterschiede im naturwissenschaftlichen Unterricht hin (Fortus & Vedder-Weiss, 2014). Mädchen scheinen weniger interessiert und motiviert (Miller, Slawinski Blessing, & Schwartz, 2006), außerdem sind ihre Einstellungen in Bezug auf die Naturwissenschaften negativer als die der Jungen (Osborne, Simon, & Collins, 2003). Allerdings zeigen ältere Studien, dass besonders Mädchen von den praktischen Erfahrungen im Labor profitieren können (Burkam, Lee, & Smerdon, 1997; Lee & Burkam, 1996).

Theoretischer Hintergrund

Die in dieser Studie durchgeführten Untersuchungen stützen sich vor allem auf den theoretischen Rahmen der *Cognitive Load Theory*⁵ in Verbindung mit der *instruktionalen Effizienz* sowie auf die *Conceptual Change Theory*⁶. Im Folgenden werden diese Theorien kurz beschrieben.

Die Cognitive load Theory (Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998) ist eine renommierte, international bekannte und empirisch bestätigte Theorie (Bannert, 2002), welche die Grundlage für die Untersuchungen zur kognitiven Auslastung (*cognitive load*) bildet. Man geht von einer limitierten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses aus (Baddeley, 1992), wobei die kognitive Auslastung dieser Kapazität während des Lernens, also die mentale Aktivität des Arbeitsgedächtnisses, in Zusammenhang mit den spezifischen Anforderungen eines bestimmten Lerninhaltes bzw. einer bestimmten Aufgabe steht. Die kognitive Auslastung lässt sich dabei in drei Komponenten gliedern (Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998), die als additiv betrachtet werden (Sweller, 2006): Die inhaltsbezogene Auslastung (*intrinsic load*), die unterrichtsbezogene Auslastung (*extraneous load*) und die lernabhängige Auslastung (*germane load*). Die inhaltsbezogene Auslastung wird durch die Komplexität der vermittelten Lerninhalte bedingt und ist vom Vorwissen des Lerners und der Elementinteraktivität, d.h. der Abhängigkeit und Vernetzung der zu lernenden Elemente (Sweller, 2003), abhängig. Die unterrichtsbezogene Auslastung bezieht sich auf die Gestaltung des Unterrichts bzw. die Darstellung und Vermittlung der Lerninhalte, wobei das Design und die Organisation der Lernmaterialien eine besondere Rolle spielen (Kalyuga, Chandler, & Sweller, 1998). Wichtige Inhalte sollten wiederholt und auf überflüssige Informationen verzichtet werden (Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998). Die lernabhängige Auslastung beschreibt die Umsetzung lernrelevanter Prozesse, also die Auslastung für die Verarbeitung der Informationen im Hinblick auf die Übertragung in das Langzeitgedächtnis (Scharfenberg, 2005). Um ein optimales Lernen zu ermöglichen sollte die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses effizient genutzt werden. Da die drei Komponenten additiv

⁵ Fachterminus auf Studien des englischen Sprachraums basierend ohne deutsche Entsprechung.

⁶ Fachterminus auf Studien des englischen Sprachraums basierend ohne deutsche Entsprechung.

sind, wirkt sich eine Reduktion der inhaltsbezogenen und/oder der unterrichtsbezogenen Auslastung positiv auf die Kapazität für die lernabhängige Auslastung aus, dadurch werden Lernprozesse gefördert und optimiert. Die kognitive Auslastung lässt sich in Form der geistigen Anstrengung (*mental effort*) messen. Paas, Tuovinen, Tabbers und Van Gerven (2003) beschrieben den Zusammenhang folgendermaßen: „Mental effort is the aspect of cognitive load that refers to the cognitive capacity that is actually allocated to accommodate the demands imposed by the task; thus, it can be considered to reflect the actual cognitive load“ (S. 64).

Die instruktionale Effizienz (*instructional efficiency*) beschreibt die relative Effizienz von Lernbedingungen unter Einbezug der geistigen Anstrengung und der kognitiven Leistung in Form des Wissenszuwachses (*performance*) (Paas & Van Merriënboer, 1993). Hiermit werden verschiedene instruktionale Bedingungen vergleichbar, indem jeweils gezielt die geistigen Aufwendungen der Lernenden mit dem erzielten Lernerfolg in Zusammenhang gebracht werden. Je größer die geistige Anstrengung für einen bestimmten Wissenszuwachs ist, desto geringer ist die instruktionale Effizienz.

Die Conceptual Change Theory (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982) ist eine international anerkannte Lerntheorie im Zusammenhang mit sogenannten Schülervorstellungen. Schüler kommen nicht als „unbeschriebenes Blatt“ in den Unterricht, sondern haben bereits feste Vorstellungen zu bestimmten Begriffen und Phänomenen entwickelt. Diese Vorstellungen basieren auf Erfahrungen aus der alltäglichen Lebenswelt, z.B. aus den Medien, von den Eltern oder Freunden, und werden, unabhängig davon wie nah sie der wissenschaftlichen Vorstellung kommen, als Schülervorstellungen beschrieben. Im englischen Sprachgebrauch verwendet man die Begriffe *pre-conceptions* (Novak, 1977), *misconceptions* (Helm, 1980) oder *alternative conceptions* (Driver & Easley, 1978), letzterer wird mittlerweile aufgrund der Neutralität am häufigsten verwendet (Fröhlich, 2012). Die Schülervorstellungen sind von großer Relevanz für den Unterricht, denn bereits Ausubel (1968) stellte fest: „Der wichtigste Faktor, der das Lernen beeinflusst, ist, was der Lernende schon weiß. Man berücksichtige dies und lehre entsprechend“ (Ausubel, 1968, S. vi). Im Rahmen der Conceptual Change Theory wird diese Forderung im Hinblick auf die Gestaltung von Unterricht aufgegriffen: Aufgrund ihrer bereits vorhandenen und oftmals tief verankerten Schülervorstellungen, verstehen Lernende die Inhalte im Unterricht nicht immer in der Weise, die der Lehrende eigentlich erwartet (Franke, 2010). Meist werden die wissenschaftlichen Konzepte und Vorstellungen von den Schülern nur dann als bedeutsam eingestuft, wenn die vorhandenen Schülervorstellungen berücksichtigt werden (Born, 2007). Die Conceptual Change Theory fordert deshalb explizit die Berücksichtigung der Schülervorstellungen im Unterricht, um einen Konzeptwechsel (*conceptual change*), also einen Wechsel der Schülervorstellungen hin zu den wissenschaftlichen Vorstellungen, zu unterstützen. Ursprünglich wurde dazu eine angeleitete Konfrontation der Schülervorstellungen mit den wissenschaftlichen Vorstellungen favorisiert (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982). Mittlerweile bevorzugt man jedoch einen kontinuierlichen Prozess, bei dem an vorhandene

Vorstellungen angeknüpft wird und diese gegebenenfalls umstrukturiert werden (Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou, & Papademetriou, 2001). Folglich ist die Erhebung von Schülervorstellungen von besonderer Bedeutung, um Anknüpfungspunkte für die Unterrichtsinhalte aufzuzeigen und einen erfolgreichen Konzeptwechsel zu fördern. Bisher gibt es zahlreiche Studien, die sich mit der qualitativen Erfassung von Schülervorstellungen beschäftigen, unter anderem auch im Bereich Genetik (Born, 2007; Lewis & Kattmann, 2004; Lewis, Leach, & Wood-Robinson, 2000) und Gentechnik (Franke, Scharfenberg, & Bogner, 2013). Im Bereich Landwirtschaft und Nahrungsmittelproduktion sind allerdings nur wenige Studien bekannt (z.B. Heleski & Zanella, 2006; Trexler, Johnson, & Heinze, 2000).

C. 2 Unterrichtsdesign

Es wurde ein eintägiges Unterrichtsmodul für die zehnte Jahrgangsstufe der Realschule entwickelt und im Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik der Universität Bayreuth implementiert. Thematisch beschäftigte sich das Modul mit der Grünen Gentechnik, wobei im Speziellen auf den gv Mais MON 810 (Monsanto), auch Bt-Mais genannt, eingegangen wurde. Der Bt-Mais wurde gentechnisch so verändert, dass die Zellen einen zusätzlichen DNA-Abschnitt aus der Bakterienart *Bacillus thuringiensis* (Berliner, 1915) besitzen, wodurch sie in der Lage sind ein zusätzliches Protein zu synthetisieren. Dieses kristalline *Cry*-Protein hat eine toxische Wirkung und wird deshalb auch Bt-Toxin (Bt steht für *Bacillus thuringiensis*) genannt. Allerdings besitzt die toxische Wirkung des Bt-Toxins eine hohe Spezifität und entfaltet sich nur im Darm eines bestimmten Zielorganismus, dem Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis* Hübner, 1796). Der Maiszünsler ist ein weltweit verbreiteter Schädling, der seine Eier an den Blättern der Maispflanze ablegt. Die Larven bohren sich in die Stängel und Kolben der Maispflanze, wodurch diese zunächst instabil und mit der Zeit so stark geschädigt werden, dass der Ertrag deutlich gemindert wird oder die Pflanzen sogar absterben. Durch die toxische Wirkung des in den Maiszellen synthetisierten Bt-Toxins vermag sich die Bt-Maispflanze vor dieser Schädigung zu schützen, da die Maiszünsler-Larven beim Fressen das Toxin aufnehmen und sterben.

Das Unterrichtsmodul gliederte sich in drei Phasen: Einer theoretischen Einleitungsphase, einer praktischen Experimentalphase und einer Diskussionsphase. Die Einleitungs- und Experimentalphase wurden mit allen Schülern in gleicher Weise durchgeführt, während es bei der Diskussionsphase unterschiedliche instruktionale Ansätze für verschiedene Versuchsgruppen (*Treatments*) gab (vgl. Teilarbeit A).

In der theoretischen Einleitungsphase wurde konsequent an Lehrplaninhalte des Biologieunterrichts angeknüpft und das Vorwissen der Schüler in Bezug auf den Zell- und DNA-Aufbau sowie den genetischen Code und die Proteinbiosynthese aktualisiert, außerdem wurde das Thema Züchtung angesprochen. Anschließend wurden die Grundlagen der Gentechnik vermittelt und am Beispiel Bt-Mais verdeutlicht.

Die praktische Experimentalphase begann mit einer sogenannten *Prelab-Phase*⁷ zur Vorbereitung auf die Durchführung der praktischen Arbeiten (Lunetta, 1998). Die Schüler übten dabei zunächst den Gebrauch der ihnen bisher unbekanntem Geräte, wie z.B. die Verwendung der Mikropipetten, und machten sich mit ihrem Arbeitsplatz vertraut. Die anschließende Durchführung der Versuche wurde von den Schülern selbstständig in Dreier- bis Vierergruppen ausgeführt. Die praktischen Arbeiten umfassten zwei Versuche: Eine DNA-Isolation aus Maiszellen (Schanke & Watson, 1998; in Teilen modifiziert) und eine Gelelektrophorese mit der isolierten DNA (Anleitungen siehe Anhang). Dabei wurde ein zweistufiger Unterrichtsansatz verfolgt (Scharfenberg & Bogner, 2010): Vor jedem praktischen Versuch (*hands-on*), wurde eine theoretische Versuchsbesprechung (*minds-on*) durchgeführt, wobei die einzelnen praktischen Schritte und deren Bedeutung besprochen und auf der Versuchsanleitung notiert wurden. Nach den praktischen Arbeiten wurden die Ergebnisse zusammengefasst.

Während der abschließenden Phase wurde eine Diskussion über die Chancen und Risiken der Grünen Gentechnik und speziell der Kultivierung des Bt-Maises angeregt. Um eine kognitive Überlastung zu vermeiden, konzentrierte sich die Diskussion im Wesentlichen auf die bedeutsamsten Chancen und Risiken (z.B. ökonomische Aspekte, wie Ertragssteigerung und Monopolbildung; ökologische Aspekte, wie Verminderung des Insektizideinsatzes und mögliche Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen) und mögliche Alternativen des Bt-Mais-Anbaus.

Im Zusammenhang mit der Teilarbeit A wurden in der Diskussionsphase unterschiedliche instruktionale Ansätze implementiert (vgl. Tabelle 1): Bei verschiedenen Schülergruppen wurde entweder ein Lehrer-zentrierter (Treatment 1) oder ein Schüler-zentrierter (Treatment 2) Diskussionsansatz verfolgt, außerdem wurde bei einer Gruppe eine Textaufgabe (Treatment 3) eingesetzt. Eine letzte Gruppe bildete die Kontrollgruppe ohne Diskussion (Kontrolle). Der Lehrer-zentrierte Ansatz orientierte sich stark an der oben beschriebenen *IRF sequence*, wobei die wesentlichen Informationen über Chancen und Risiken der Grünen Gentechnik vom Lehrer präsentiert wurden. Die im Klassenverband geführte Diskussion wurde vom Lehrer moderiert und gelenkt. Für den Schüler-zentrierten Diskussionsansatz wurden zunächst fünf Gruppen gebildet, denen jeweils eine andere Rolle (Landwirte mit Bt-Mais-Anbau, Landwirte mit herkömmlichem Mais-Anbau und Öko-Bauern, Wissenschaftler, Wirtschaftsvertreter, Mitglieder von Umweltverbänden und Umweltschutzorganisationen) zugewiesen wurde. Alle Gruppen erhielten vor der Diskussion einen Text (siehe Anhang), mit dem sie sich auf ihre jeweilige Rolle vorbereiten konnten, indem sie die wichtigsten Informationen und Argumente herausarbeiteten. Während der anschließenden Diskussion wurden die unterschiedlichen Standpunkte von den einzelnen Gruppen präsentiert, im Klassengespräch wurden danach die wichtigsten Punkte zusammengefasst und durch den Lehrer ergänzt. Die dritte Gruppe erhielt eine Textaufgabe (siehe Anhang), welche die Schüler selbstständig in Einzelarbeit lesen und

⁷ Fachterminus auf Studien des englischen Sprachraums basierend ohne deutsche Entsprechung.

beantworten mussten. Die Ergebnisse wurden von einzelnen Schülern präsentiert und die wichtigsten Informationen im Klassengespräch zusammengefasst und vom Lehrer ergänzt.

C. 3 Studiendesign und Fragestellungen

Für die Studie wurde ein quasi-experimentelles Design (Tabelle 1) verwendet, wobei die teilnehmenden Schulklassen zufällig auf die verschiedenen Treatmentgruppen verteilt wurden (vgl. Teilarbeit A). Für die Datenerhebung wurde ein dreistufiges Testdesign genutzt: Die Tests wurden eine Woche vor der Teilnahme am Unterricht (Vortest), direkt im Anschluss (Nachtest) und etwa sechs Wochen danach (Behaltenstest) eingesetzt. Dabei wurden mit Hilfe von Fragebögen Daten zum subjektiven und objektiven Wissen, zur geistigen Anstrengung, zur intrinsischen Motivation, zu den Hoffnungen und Ängsten der Schüler gegenüber der Grünen Gentechnik sowie zu den Schülervorstellungen über die Aufgaben eines Landwirtes erhoben (vgl. C. 4 Methodik: Datenerhebung und –auswertung). An der Studie nahmen insgesamt 583 Realschüler aus 29 Schulklassen teil. In dieser Stichprobe ist eine externe Kontrollgruppe eingeschlossen, welche den dreimaligen Test ohne eine Teilnahme am Unterricht durchführte.

Tabelle 1. Quasi-experimentelles Design der Studie.

Lernort	Labor			
Gruppe	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Kontrolle
Vortest (T1)	Subjektives und objektives Wissen Intrinsische Motivation Hoffnungen/Befürchtungen der Schüler gegenüber Grüner Gentechnik Schülervorstellungen über die Aufgaben eines Landwirtes			
Zeitdifferenz	Eine Woche			
Intervention	Einführung in Grundlagen Experimentelles Modul			
	Lehrer- zentrierte Diskussion	Schüler- zentrierte Diskussion	Textaufgabe	-----
Nachtest (T2)	Geistige Anstrengung („online“) Objektives Wissen Hoffnungen/Befürchtungen der Schüler gegenüber Grüner Gentechnik			
Zeitdifferenz	Sechs Wochen			
Behaltenstest (T3)	Objektives Wissen Hoffnungen/Befürchtungen der Schüler gegenüber Grüner Gentechnik			

Basierend auf dem oben dargelegten aktuellen Stand der Forschung wurden im Rahmen dieser Studie vier Teilarbeiten erstellt, deren Ziele und Fragestellungen im Folgenden beschrieben werden:

Teilarbeit A

Um unterschiedliche instruktionale Ansätze in Bezug auf die Diskussion über die Grüne Gentechnik zu vergleichen, wurden in der Diskussionsphase verschiedene Treatments implementiert (vgl. Tabelle 1). Obwohl in aktuellen Forschungsarbeiten immer häufiger Schülerzentrierte Ansätze gefordert werden (z.B. Bennett, Hogarth, Lubben, Campbell, & Robinson, 2010; Taraban, Box, Myers, Pollard, & Bowen, 2007; Wells & Arauz, 2006), gibt es widersprüchliche Ergebnisse (Granger et al., 2012), beispielsweise im Zusammenhang mit den kognitiven Leistungen. Deshalb wurden in Abhängigkeit von den verschiedenen Diskussionsansätzen Auswirkungen auf die kognitive Leistung, in Form des Wissenszuwachses, und die kognitive Auslastung, in Form der geistigen Anstrengung während der Diskussionsphase, untersucht. Die instruktionalen Ansätze wurden zudem mit Hilfe der Daten zur instruktionalen Effizienz verglichen. Im Rahmen dieser Teilarbeit ergaben sich zwei Forschungsfragen:

- Gibt es signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen instruktionalen Diskussionsansätzen in Bezug auf die kognitive Leistung und die kognitive Auslastung?
- Welcher Ansatz erweist sich als instruktional effizientester?

Teilarbeit B

Schüler kommen nicht nur mit bestimmten Schülervorstellungen sondern auch mit gewissen Assoziationen oder Empfindungen zum Thema Grüne Gentechnik, wie z.B. Hoffnungen und Ängsten, in den Unterricht. Zwischen diesen Empfindungen und der generellen Einstellung zur Gentechnik wurde wiederholt ein deutlicher Zusammenhang gezeigt, der sich nicht nur durch die Vermittlung von reinem Fachwissen beeinflussen lässt (Gebhard, Feldmann, & Bremekamp, 1994; Sorgo & Ambrožič-Dolinšek, 2010). Allerdings wird ein Zusammenhang zwischen dem Wissen der Schüler und ihren Hoffnungen und Ängsten vermutet (Fonseca, Costa, Lencastre, & Tavares, 2012; Prokop, Lešková, Kubiato, & Diran, 2007; Wnuk & Kozak, 2011). Erkenntnisse über die Art und Intensität von Hoffnungen und Ängsten in Bezug auf die Grüne Gentechnik könnten Lehrern helfen, diese zu thematisieren und gegebenenfalls in eine Diskussion im Unterricht einzubeziehen. Im Rahmen dieser Teilarbeit ergaben sich drei Forschungsfragen:

- Wie stufen Schüler ihre Hoffnungen und Ängste in Bezug auf die Grüne Gentechnik ein?
- Welche Hoffnungen und Ängste beschreiben die Schüler?
- Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Wissen der Schüler zum Thema Grüne Gentechnik und ihren Hoffnungen und Ängsten?

Teilarbeit C

Um ein generelles Bild zu den Vorstellungen der Schüler im Zusammenhang mit der Landwirtschaft und der landwirtschaftlichen Praxis zu erhalten und Anknüpfungspunkte für den Unterricht zu finden, wurden Wortassoziationen (Hovardas & Korfiatis, 2006) zu den Aufgaben von Landwirten erhoben. Die Schülervorstellungen wurden zwischen der fünften/sechsten und der zehnten Jahrgangsstufe verglichen, weshalb zusätzliche Daten von 122 Schülern aus den unteren Jahrgängen einbezogen wurden. Im Rahmen dieser Teilarbeit ergaben sich zwei Forschungsfragen:

- Welche Vorstellungen zur landwirtschaftlichen Praxis haben Schüler zu Beginn und am Ende der Sekundarstufe I?
- Besitzen Schüler ohne familiären landwirtschaftlichen Hintergrund andere Vorstellungen als Schüler mit familiärem landwirtschaftlichen Hintergrund?

Teilarbeit D

Im Rahmen der naturwissenschaftlichen Grundbildung und des Erkenntnisgewinnungsprozesses der Schüler sind praktische Erfahrungen im Labor besonders wichtig (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007; Lee & Burkam, 1996). Allerdings gibt es immer noch geschlechtsspezifische Unterschiede im naturwissenschaftlichen Unterricht (Fortus & Vedder-Weiss, 2014), weshalb in dieser Teilstudie entsprechende Unterschiede speziell im Kontext des außerschulischen Lernortes Labor untersucht wurden. In Abhängigkeit vom Geschlecht wurden die kognitive Leistung, in Form des Wissenszuwachses, und die kognitive Auslastung, in Form der geistigen Anstrengung, analysiert. Zudem wurde die instruktionale Effizienz für beide Geschlechter verglichen. Außerdem wurde der Zusammenhang zwischen der intrinsischen Motivation der Schüler und ihrem Wissenszuwachs im Rahmen des Unterrichtsmoduls untersucht, wobei aufgrund anderer Studien ein positiver Zusammenhang vermutet wurde (Glynn, Taasobshirazi, & Brickman, 2007; Paas, Tuovinen, Van Merriënboer, & Darabi, 2005). Im Rahmen dieser Teilarbeit ergaben sich zwei Forschungsfragen:

- Hat die intrinsische Motivation der Schüler einen Einfluss auf den Wissenszuwachs im Rahmen des Unterrichtsmoduls im außerschulischen Lernort Labor?
- Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede im Hinblick auf den Wissenszuwachs, die geistige Anstrengung und die instruktionale Effizienz?

C. 4 Methodik: Datenerhebung und –auswertung

Die Datenerhebung erfolgte mit Hilfe von Papier-und-Bleistift-Fragebögen (siehe Anhang), die von den 583 teilnehmenden Schülern zu drei verschiedenen Zeitpunkten (vgl. C. 3 Studiendesign und Fragestellungen) ausgefüllt wurden. Die verwendeten Skalen und offenen

Fragen werden im Folgenden beschrieben. Alle statistischen Berechnungen wurden mit der Software PASW Statistics (Version 18.0.0) oder SPSS Statistics (Version 20.0.0) durchgeführt.

Um Testeffekte im Zusammenhang mit dem dreimaligen Ausfüllen der Fragebögen zu überprüfen, wurde eine externe Kontrollgruppe (n = 116) genutzt, welche die Fragebögen drei Mal ausfüllte, jedoch nicht am Unterrichtsmodul teilnahm. Bei der Auswertung der Daten dieser Kontrollgruppe ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Testzeitpunkten in Bezug auf die verwendeten Skalen.

Teilarbeit A

Im Rahmen der Teilarbeit A wurden die Daten von 467 Schülern, die am Unterrichtsmodul teilgenommen hatten, ausgewertet. Die verschiedenen instruktionalen Diskussionsansätze wurden mit 419 Schüler umgesetzt (Lehrer-zentrierte Diskussion: n = 130; Schüler-zentrierte Diskussion: n = 99; Textaufgabe: n = 190). Die Kontrollgruppe ohne Diskussion umfasste 48 Schüler.

Um die kognitive Leistung der Schüler zu messen, wurde ein Wissenstest mit insgesamt 19 Multiple-Choice Fragen entwickelt. Für die Auswertungen im Rahmen der Teilarbeit A wurde ein Teil des Tests (sieben Fragen) genutzt, die sich inhaltlich auf die Diskussionsphase bezogen. Die Reliabilitätsanalyse ergab für diesen Teilwissenstest ein Cronbach's alpha von 0,74.

Die kognitive Auslastung wurde in Form der geistigen Anstrengung gemessen (Paas, Tuovinen, Tabbers, & Van Gerven, 2003). Dazu wurde eine eindimensionale neun-stufige Likert-Skala (1 = sehr, sehr gering ... 9 = sehr, sehr hoch) eingesetzt (Paas, Van Merriënboer, & Adams, 1994; Cronbach's $\alpha = 0,76$), die in der Cognitive-Load-Forschung oft genutzt wird (z.B. Van Gog & Paas, 2008) und bereits als valide Skala beschrieben wurde (Ayres, 2006). Der mittlere Wert wurde als Orientierungshilfe mit dem Ankerbeispiel „5 = genau so anstrengend wie im üblichen Biologieunterricht“ versehen. Auf dieser Skala stuften die Schüler während des Unterrichts zu sieben verschiedenen Zeitpunkten ihre geistige Anstrengung ein („Online-Messung“). Für die Auswertung der Daten wurden Mittelwerte für die jeweiligen Phasen des Unterrichtsmoduls (Einleitungs-, Experimental- und Diskussionsphase) gebildet.

Die instruktionale Effizienz (E) wurde mit Hilfe der Daten des Wissenstests (kurzfristiger Wissenszuwachs (*performance*) = Summenwert Nachtest – Summenwert Vortest) und der geistigen Anstrengung (*mental effort*, Daten aus der Diskussionsphase) nach der Formel $E = (Z_{performance} - Z_{mental\ effort})/\sqrt{2}$ (Paas & Van Merriënboer, 1993) berechnet, wobei die adaptierte Form nach Van Gog und Paas (2008) unter Einbezug der geistigen Anstrengung während des Lernens („Online-Messung“) verwendet wurde.

Aufgrund normalverteilter Daten wurden parametrische Testverfahren genutzt. Die Vergleiche zwischen den verschiedenen Treatments wurden mit Hilfe einer einfaktoriellem ANOVA ausgewertet, während für Innergruppenvergleiche zwischen den verschiedenen Testzeitpunkten eine Varianzanalyse mit Messwiederholungen (*repeated-measures ANOVA*) genutzt wurde. Dazu

wurden jeweils entsprechende *Post-hoc*-Tests durchgeführt (Hochberg's GT2 Test für die einfaktoriellen ANOVA; Bonferroni-Korrektur für repeated-measures ANOVA; Field, 2009) und Effektstärken (nach Bühner & Ziegler, 2009; Field, 2009) berechnet.

Teilarbeit B

Im Rahmen der Teilarbeit B wurden die Daten von 572 Schülern ausgewertet, da es sich hierbei um die Vortest-Daten handelte, konnten auch die Daten der externen Kontrollgruppe mit einbezogen werden.

Bei der Erhebung der Daten wurde ein *mixed methods design*⁸ (Johnson & Onwuegbuzie, 2004), eine Kombination aus quantitativen und qualitativen Methoden, verwendet. Der quantitative Teil der Fragen bestand aus zwei unidimensionalen vier-stufigen Likert-Skalen („keine“ bis „sehr große“ Hoffnung/Angst), auf denen die Schüler ihre Hoffnungen bzw. Ängste in Bezug auf die Grüne Gentechnik einstufen sollten. Die Reliabilitätsanalyse ergab für beide Likert-Skalen ein Cronbach's alpha von 0,85. Im qualitativen Teil wurden die Schüler aufgefordert ihre Hoffnungen bzw. Ängste genauer zu beschreiben (z.B. „Wenn Sie Hoffnungen mit der Grünen Gentechnik verbinden, schreiben Sie bitte einen Satz zur genaueren Erklärung.“). Das Design der Fragen zu den Hoffnungen und Ängsten basiert auf der Studie von Gebhard, Feldmann und Bremekamp (1994).

Außerdem wurden Daten in Bezug auf das Wissen der Schüler zur Grünen Gentechnik erhoben, dabei wurde das subjektive und das objektive Wissen der Schüler differenziert betrachtet. Diese differenzierte Betrachtung war notwendig, weil beide Wissensarten möglicherweise einen unterschiedlichen Bezug zu den Hoffnungen und Ängsten der Schüler aufweisen (Connor & Siegrist, 2010; House et al., 2004). Das subjektive Wissen beschreibt die individuelle Einstufung des eigenen Wissens, d.h. es bezieht sich darauf, wie sich die Schüler selbst einschätzen bzw. wie gut sie sich informiert fühlen (Costa-Font, Gil, & Traill, 2008). Dazu wurde eine zweidimensionale drei-stufige Likert-Skala („schlecht“ bis „gut“) verwendet, auf der die Schüler einschätzen sollten, wie gut sie sich zum Thema Grüne Gentechnik informiert fühlen. Das objektive Wissen bezieht sich auf das reale Faktenwissen zu einem bestimmten Thema und lässt sich mit Hilfe von Wissenstests bewerten (Costa-Font, Gil, & Traill, 2008). Dazu wurde der Wissenstest mit 19 Multiple-Choice Fragen (vgl. Teilarbeit A) verwendet und ein Teil des Tests von 14 Fragen ausgewertet, die sich inhaltlich auf das Thema Grüne Gentechnik bezogen. Die Reliabilitätsanalyse ergab für diesen Teilwissenstest ein Cronbach's alpha von 0,74.

Für die statistische Auswertung der quantitativen Daten wurden parametrische Testverfahren genutzt. Für paarweise Vergleiche von Hoffnungen und Ängsten wurde ein einfacher t-Test und für Zwischengruppenvergleiche im Zusammenhang mit dem subjektiven Wissen eine einfaktorielle ANOVA mit entsprechenden *Post-hoc*-Tests (Hochberg's GT2 Test) verwendet. Die

⁸ Fachterminus auf Studien des englischen Sprachraums basierend ohne deutsche Entsprechung.

Effektstärken wurden nach Field (2009) ermittelt. Die Korrelationen zwischen den Variablen wurden je nach den entsprechenden Voraussetzungen nach Pearson oder Spearman berechnet. Die qualitativen Daten wurden nach den Vorgaben der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2008) kategorisiert (induktive Kategorienbildung; Abbildung 1). Die Kategorisierung wurde zudem auf Basis von zehn Prozent der Daten mit einer Intra- und Inter-Rater-Reliabilitätsanalyse überprüft, wobei die Reliabilität (insgesamt Cohen's κ : 0,69-0,96) als „ausreichend“ bis „fast perfekt“ betrachtet werden konnte (Landis & Koch, 1977). Das Kategoriensystem mit Hilfe dessen die quantitativen Daten zu den Hoffnungen und Ängsten der Schüler kategorisiert wurden, umfasste schließlich fünf Kategorien für die Hoffnungen und vier Kategorien für die Ängste. Bei der Kategorisierung bestand die Möglichkeit innerhalb der Aussage eines Schülers mehrere Kategorien zuzuordnen.

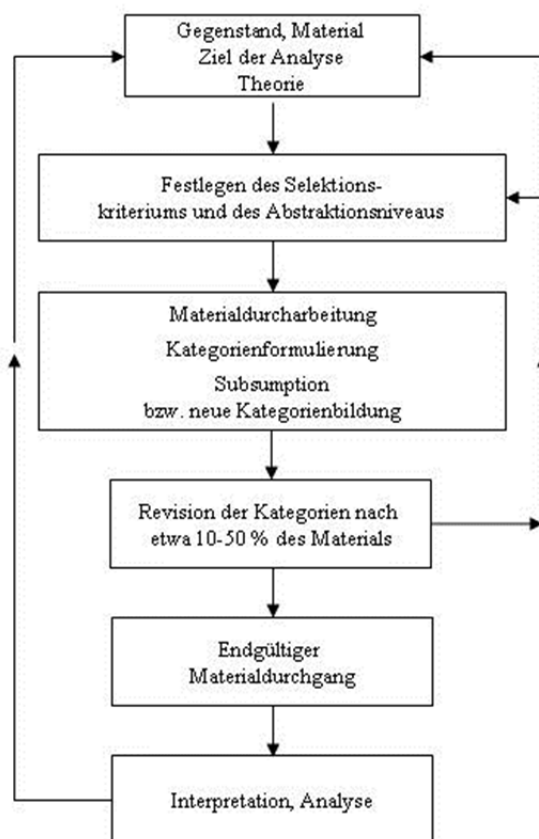


Abbildung 1. Prozessmodell induktiver Kategorienbildung (nach Mayring, 2008, S. 75).

Teilarbeit C

Im Rahmen der Teilarbeit C wurden die Daten von 122 Schülern aus der fünften und sechsten Jahrgangsstufe sowie von 158 Schülern aus der zehnten Jahrgangsstufe ausgewertet.

Die Schülervorstellungen zu den Aufgaben von Landwirten wurden mit Hilfe von Wortassoziationen (Hovardas & Korfiatis, 2006) erhoben. Die Fragestellung dazu lautete: „Was sind die wichtigsten Aufgaben eines Landwirtes? (zwei Angaben)“. Außerdem wurden Angaben

zum familiären landwirtschaftlichen Hintergrund erhoben und die Häufigkeit sowie der Anlass bisheriger Bauernhofbesuche erfragt.

Die Daten wurden nach den Vorgaben der qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring, 2008) kategorisiert (induktive Kategorienbildung; Abbildung 1) und die Kategorisierung mit einer Intra- und Inter-Rater-Reliabilitätsanalyse (anhand von 10% der Daten) überprüft. Die Reliabilität (Cohen's κ : 0,73) konnte als „ausreichend“ eingestuft werden (Landis & Koch, 1977). Abschließend wurden sieben Hauptkategorien bestimmt, wobei die Unterkategorien der zwei am häufigsten genannten Hauptkategorien einer zusätzlichen detaillierteren Auswertung unterzogen wurden.

Teilarbeit D

Im Rahmen der Teilarbeit D wurden die Daten von 197 Schülern, die am Unterrichtsmodul teilgenommen hatten, ausgewertet. In dieser Stichprobe befanden sich 102 Mädchen und 95 Jungen. In Vorbereitung wurde das Testinstrument zur Messung der intrinsischen Motivation (Glynn, Taasobshirazi, & Brickman, 2009) mit Hilfe der Daten von 371 anderen Schülern überprüft.

Zur Messung der kognitiven Leistung wurden 15 Fragen des Wissenstests (vgl. Teilarbeit A) ausgewertet. Die Reliabilitätsanalyse ergab für diesen Wissenstest ein Cronbach's alpha von 0,79. Die kognitive Auslastung wurde in Form der geistigen Anstrengung gemessen (vgl. Teilarbeit A; Paas, Tuovinen, Tabbers, & Van Gerven, 2003). Hierbei schätzten die Schüler jeweils im Anschluss an den Wissenstest ihre testspezifische geistige Anstrengung mit Hilfe der neun-stufigen Likert-Skala (1 = sehr, sehr gering ... 9 = sehr, sehr hoch) ein (Paas, Van Merriënboer, & Adams, 1994; Cronbach's α = 0,76). Die instruktionale Effizienz (E) wurde mit Hilfe der Daten des Wissenstests (kurzfristiger Wissenszuwachs (performance) = Summenwert Nachtest – Summenwert Vortest) und der geistigen Anstrengung (mental effort) nach der Formel $E = (z_{\text{performance}} - z_{\text{mental effort}})/\sqrt{2}$ (Paas & Van Merriënboer, 1993) berechnet.

Zur Messung der intrinsischen Motivation der Schüler wurde die Subskala "intrinsic motivation and personal relevance" (10 Fragen) des *Science Motivation Questionnaire* (SMQ; Glynn, Taasobshirazi, & Brickman, 2009) eingesetzt. Die Schüler beantworteten die Fragen bereits im Vortest und stuften ihre Antworten jeweils auf einer fünf-stufigen Likert-Skala (1 = stimme gar nicht zu ... 5 = stimme völlig zu) ein. Die Reliabilitätsanalyse ergab für diese Skala ein Cronbach's alpha von 0,91.

Aufgrund nicht normalverteilter Daten wurden nichtparametrische Testverfahren genutzt. Die geschlechtsspezifischen Unterschiede wurden mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests ausgewertet (Field, 2009). Für Innergruppenvergleiche zwischen den verschiedenen Testzeitpunkten wurde der Friedman-Test und als *Post-hoc*-Test der Wilcoxon-Test (mit Bonferroni-Korrektur) genutzt (Field, 2009). Die Effektstärken wurden jeweils nach Field (2009) berechnet. Die Korrelation zwischen Motivation und Wissenszuwachs wurde mit Hilfe von Spearmans

Rangkorrelationskoeffizient ausgewertet (Field, 2009). Zur Überprüfung der Skalenstruktur des *Science Motivation Questionnaire* (Glynn, Taasobshirazi, & Brickman, 2009) wurde eine Faktorenanalyse durchgeführt (Field, 2009).

C. 5 Ergebnisse und Diskussion

Teilarbeit A

Die Ergebnisse der Teilarbeit A zeigten, dass der Wissenszuwachs der Schüler im Zusammenhang mit dem Unterrichtsmodul sowohl kurzfristig (direkt nach dem Modul) als auch langfristig (sechs Wochen danach) signifikant war. Allerdings zeigten die Zwischengruppenvergleiche zwischen den unterschiedlichen Treatments signifikante Unterschiede: Der kurzfristige und langfristige Wissenszuwachs von Treatment 1 (Lehrer-zentrierte Diskussionsform) war signifikant höher als die Werte der anderen Treatments. Das Treatment 2 (Schüler-zentrierte Diskussionsform) und das Treatment 3 (Textaufgabe) unterschieden sich in Bezug auf den Wissenszuwachs nicht von der Kontrollgruppe ohne Diskussion. Die geistige Anstrengung während der Diskussionsphase war bei der Schüler-zentrierten Diskussion signifikant höher als beim Lehrer-zentrierten Ansatz. Die Werte des kurzfristigen Wissenszuwachses und die geistige Anstrengung flossen in die Berechnung der instruktionalen Effizienz ein: Die Effizienz des Lehrer-zentrierten Ansatzes unterschied sich signifikant von den Werten der anderen Gruppen, da ein höherer Wissenszuwachs mit einer geringeren geistigen Anstrengung erreicht wurde. Dies zeigte, dass im Rahmen des Lehrer-zentrierten Ansatzes wahrscheinlich aufgrund der besseren Strukturiertheit und der moderierenden Rolle des Lehrers eine optimierte und nachhaltige Wissensvermittlung stattfand (Kirschner, Sweller, & Clark, 2006; Walberg, 1990). Vor allem bei der Behandlung neuer Themenbereiche sind Schüler durch große Menge an neuen Informationen häufig so überfordert, dass Schüler-zentrierte Ansätze keinen Mehrwert bringen (Kirschner, Sweller, & Clark, 2006; Mayer, 2004). Um der Forderung nach Schüler-zentrierten Ansätzen im Unterricht nachzukommen (Bennett, Hogarth, Lubben, Campbell, & Robinson, 2010; Taraban, Box, Myers, Pollard, & Bowen, 2007; Wells & Arauz, 2006), sollten Lehrer ihre Schüler deshalb schrittweise auf diese Ansätze vorbereiten (Day & Bryce, 2011): Zuerst bedarf es einer Vorbereitung mit dem relevanten Fachwissen, um eine sichere Grundlage für die selbstständige Diskussion der Schüler zu schaffen. Darüber hinaus sollten Bewertungsstrategien aufgezeigt, der Perspektivwechsels geübt sowie die Kommunikations- und Argumentationsfähigkeit geschult werden. Anschließend ist die konsequente und wiederholte Einbindung von Schüler-zentrierten Diskussionen in den Unterricht notwendig, um die Schüler auf eine Teilnahme an der kontroversen öffentlichen Debatte vorzubereiten. Abgesehen davon sollten auch Lehrer im Rahmen von Aus- und Weiterbildung entsprechende pädagogische Fähigkeiten trainieren, um

Schüler in Diskussionen einzubeziehen und ihre aktive Teilnahme fördern zu können (Bennett, Hogarth, Lubben, Campbell, & Robinson, 2010; Levinson, 2006).

Teilarbeit B

Die Ergebnisse der Teilarbeit B zeigten, dass die Hoffnungen und Ängste der Schüler gegenüber der Grünen Gentechnik generell eher gering waren: 46 Prozent der Schüler stuften ihre Hoffnung bzw. Ängste als gering ein und 28 Prozent bzw. 43 Prozent hatten gar keine, während nur 26 Prozent bzw. elf Prozent große oder sehr große Hoffnungen bzw. Ängste angaben. Diese niedrigen Ergebnisse waren mit Blick auf die Aktualität des Themas überraschend und lassen vermuten, dass die Schüler in ihrem täglichen Leben zu wenig Bezug zum Thema haben und deshalb nur geringfügig betroffen sind. Eine Korrelation der beiden Variablen wurde nicht nachgewiesen. Aus diesem Grund konnte angenommen werden, dass kein Zusammenhang zwischen den Hoffnungen und Ängsten besteht. Dieses Ergebnis findet sich in anderen Studien wieder (z.B. Stewart & McLean, 2008) und unterstützt die unabhängige Messung beider Variablen. Mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse konnten fünf Kategorien im Zusammenhang mit den Hoffnungen identifiziert werden, wobei die Kategorien „Vorteile für Landwirte“ (40%), „Welthungerproblem“ (28%) und „Zukunftschancen“ (24%) am häufigsten genannt wurden. Im Zusammenhang mit den Ängsten wurden vier Kategorien identifiziert, dabei wurden die Kategorien „Langzeitfolgen“ (42%), „Auswirkungen auf Menschen“ (42%) und „Auswirkungen auf die Umwelt“ (35%) am häufigsten genannt, die Kategorie „Ethik“ fand nur bei sieben Prozent der Schüler Erwähnung. Allerdings konnten etwa 50 Prozent der Schüler ihre Hoffnungen und Ängste nicht genauer beschreiben und beantworteten die offene Frage nicht. Die identifizierten Kategorien entsprachen den Ergebnissen aus anderen Studien (z.B. Ekborg, 2008; Knight, 2009; Massarani & Moreira, 2005) und zeigten, dass die Schüler keinen tiefergehenden Bezug zum Thema hatten. Die genannten Hoffnungen und Ängste orientierten sich zwar inhaltlich an der öffentlichen Diskussion und den dabei propagierten Argumenten, allerdings fanden sich kaum ausführlichere Beschreibungen, die eine umfassendere Beschäftigung mit der kontroversen Debatte über die Grüne Gentechnik vermuten ließen. Die Ergebnisse zeigen jedoch Ansatzpunkte für den Unterricht, in dem die Hoffnungen und Ängste der Schüler aufgegriffen und thematisiert werden sollten. Dabei kann die Fähigkeit zur eigenen kritischen Reflexion und die Erweiterung des Toleranzrahmens gefördert werden (Reitschert & Hössle, 2007).

Zwischen dem subjektiven Wissen der Schüler und ihren Hoffnungen wurde ein positiver Zusammenhang nachgewiesen: Je besser sich die Schüler informiert fühlten, umso höher stuften sie ihre Hoffnungen ein. Dieser Zusammenhang wurde auch von Gebhard, Feldmann und Bremekamp (1994) dokumentiert und zeigt, dass sich Bildung positiv auf die Hoffnungen auswirken kann. Allerdings konnte kein Zusammenhang des subjektiven Wissens mit den Ängsten nachgewiesen werden und auch die Höhe des objektiven Wissens stand nicht im Zusammenhang mit der Einstufung der Hoffnungen und Ängste. Diese Ergebnisse weisen

darauf hin, dass die Vermittlung von Fachwissen im Unterricht enger mit der Thematisierung der Hoffnungen und Ängste verknüpft werden sollte.

Teilarbeit C

Die Ergebnisse der Teilarbeit C zeigten für die meisten Kinder und Jugendlichen kaum noch eine Berührung mit moderner Landwirtschaft, ihre Vorstellungen beruhen meist auf Bildern aus der Werbung oder Kinderbüchern, die ein idyllisches Landwirtschaftsbild mit „glücklichen Kühen auf der grünen Weide“ unterstützen (Fröhlich, 2012). Wie in einigen Studien vermutet wird, ist vielen Verbrauchern diese Diskrepanz zwischen Realität und Werbung nicht bewusst (Orth & De Marchi, 2007). Sowohl die Schüler der fünften/sechsten, als auch der zehnten Jahrgangsstufe nannten kaum Vorstellungen mit Bezug zur modernen Landwirtschaft (z.B. Biogasherstellung, Energiepflanzenanbau). Vorrangig wurden Kategorien gefunden, die an Stereotypen (Wright, Stewart, & Birkenholz, 1994) erinnern, wie z.B. die Kategorien „Tiere“ und „Landwirtschaft“. Der Hauptunterschied zwischen den Altersgruppen beschränkte sich auf die Kategorie „Pflanzen“, die häufiger von Schülern der zehnten Jahrgangsstufe genannt wurde, außerdem wurden „ökologische Aspekte“ ebenfalls nur von den älteren Schülern (5%) angeführt. Bei genauerer Auswertung der Unterkategorien zur Kategorie „Tiere“, zeigte sich, dass sich die Schüler der fünften und sechsten Jahrgangsstufe in einer empathischen Entwicklungsphase mit einem besonderen Bezug zu Tieren befinden (Kellert, 1985), da die Unterkategorien „Melken“ (41%) und „Füttern“ (13%) von dieser Altersgruppe deutlich häufiger als von den Schülern der zehnten Jahrgangsstufe (2%; 4%) genannt wurden.

Der Vergleich der Schülergruppen mit unterschiedlichem familiärem Hintergrund zeigte, dass die Kategorien „Pflanzen“ und „Produktion/Verarbeitung“ von Schülern mit landwirtschaftlichem Hintergrund häufiger angeführt wurden als von Schülern ohne landwirtschaftlichen Hintergrund. In der jüngeren Gruppe konnten sieben Prozent und in der älteren Gruppe 14 Prozent der Schüler ohne landwirtschaftlichen Hintergrund keine Angabe zu einer zweiten wichtigen Aufgabe der Landwirte machen, dies verdeutlicht die Entfremdung der Schüler von der landwirtschaftlichen Praxis.

Das Thema Grüne Gentechnik muss im Zusammenhang mit den Themenbereichen Landwirtschaft und Nahrungsmittelproduktion betrachtet werden: Schüler müssen beispielsweise die Chancen und Risiken bewerten und ihre Relevanz mit Bezug zu den realen landwirtschaftlichen Bedingungen einschätzen, deshalb ist die Thematisierung von Schülervorstellungen notwendig und kann gegebenenfalls mit einem Konzeptwechsel verbunden werden (Franke & Bogner, 2011). Die Ergebnisse bekräftigen die Notwendigkeit von Bildungsmaßnahmen im Bereich der Landwirtschaft und Nahrungsmittelproduktion und zeigen Ansatzpunkte für den Unterricht. Beispielsweise fällt es den Schülern schwer, sich die Zusammenhänge zwischen der Kultivierung von Pflanzen in der Landwirtschaft und den weiterführenden Prozessen der Nahrungsmittelproduktion klar zu verdeutlichen: Nur wenige

wissen, dass gv Mais, häufig zur Produktion von Futtermitteln für die Tierhaltung genutzt wird und deshalb auch auf diesen Wegen in die Nahrungskette des Menschen gelangen kann.

Teilarbeit D

Im Rahmen der Teilarbeit D konnte zunächst die Struktur der SMQ-Subskala (Glynn, Taasobshirazi, & Brickman, 2009) mittels Faktorenanalyse bestätigt werden. Innerhalb der Stichprobe lagen die Werte für die intrinsische Motivation im mittleren Bereich, ohne dass geschlechtsspezifische Unterschiede nachgewiesen werden konnten. Der Wissenszuwachs der Schüler war sowohl kurzfristig (direkt nach dem Modul) als auch langfristig (sechs Wochen danach) signifikant. Außerdem wurde zwischen der intrinsischen Motivation der Schüler und ihrem erworbenen Wissen eine positive Korrelation nachgewiesen. Diese Resultate zeigten, dass im Rahmen des Unterrichtsmoduls im außerschulischen Lernort Labor ein Wissenserwerb erfolgte, allerdings wurde die Notwendigkeit intrinsischer Motivation für ein erfolgreiches Lernen gezeigt. Vermutlich wirkten sich die authentische Lernumgebung sowie die praktischen Laboraktivitäten positiv auf den Lernerfolg aus, denn ähnliche Ergebnisse konnten bereits in anderen Studien gezeigt werden (z.B. Areepattamannil, Freeman, & Klinger, 2011; Osborne, Simon, & Collins, 2003; Scharfenberg & Bogner, 2010).

Für den Wissenszuwachs und die instruktionale Effizienz des Unterrichtsmoduls konnten signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede nachgewiesen werden. Der kurzfristige Wissenszuwachs war bei den Mädchen höher, allerdings zeigten sie auch eine höhere Vergessensrate und unterschieden sich deshalb in ihrem langfristigen Wissenszuwachs nicht von den Jungen. In die Berechnung der instruktionalen Effizienz für das Unterrichtsmodul flossen der kurzfristige Wissenszuwachs und die testspezifische geistige Anstrengung ein: Für die weibliche Gruppe wurde aufgrund des höheren Wissenszuwachses bei gleicher geistiger Anstrengung eine deutlich höhere instruktionale Effizienz erreicht. Aufgrund dieser Ergebnisse kann vermutet werden, dass Mädchen insbesondere von praktischen Laborerfahrungen profitieren. In früheren Studien wurden ähnliche Schlussfolgerungen gezogen (Burkam, Lee, & Smerdon, 1997; Lee & Burkam, 1996), wobei auch auf die besondere lernfördernde Wirkung von Schüler-zentrierten, kollaborativen Lernmethoden für Mädchen hingewiesen wurde (Meece, Glienke, & Burg, 2006; Miller, Slawinski Blessing, & Schwartz, 2006).

Um eine ganzheitliche naturwissenschaftliche Grundbildung zu fördern und geschlechtsspezifischen Unterschieden entgegen zu wirken, ist eine Intensivierung von praktischen Laborerfahrungen im naturwissenschaftlichen Unterricht ratsam. Diese Forderung wird auch von den deutschen Bildungsstandards (KMK, 2005) gestützt. Lehrer sollten in diesem Zusammenhang auf aktivierende und motivierende Lernumgebungen, kollaborative Lernmethoden, den aktiven Einbezug der Schüler in den Unterricht und vielfältige praktische Unterrichtsansätze achten.

C. 6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Gesamtstudie zeigt Ansatzpunkte für die Behandlung und Diskussion des Themas Grüne Gentechnik im Unterricht. Obwohl der außerschulische Lernort Labor ein optimaler Lernort für Bildungsmaßnahmen in diesem Themenbereich ist, werden im Folgenden mögliche Konsequenzen aufgezeigt, die auch im Rahmen des konventionellen Unterrichts Gültigkeit besitzen. Außerdem werden Möglichkeiten für die weiterführende Forschung dargelegt.

Bisher haben zahlreiche Studien gezeigt (z.B. Born, 2007; Franke, 2010), dass sich eine Thematisierung von Schülervorstellungen im Rahmen der Conceptual Change Theory positiv auf den Unterricht auswirkt. Um im Zusammenhang mit dem Thema Grüne Gentechnik Bezug zu den realen Bedingungen in der Landwirtschaft zu nehmen, zeigen die erhobenen Schülervorstellungen zur landwirtschaftlichen Praxis Ansatzpunkte für den Unterricht auf. Dabei ist es notwendig, Schülern bereits in unteren Jahrgangsstufen ein reales Bild der modernen Landwirtschaft zu vermitteln, um einer Entfremdung vorzubeugen. Um ein noch genaueres Bild der Vorstellungen der Schüler zu erhalten, wäre der Einsatz anderer Erhebungsinstrument (z.B. Interview, *concept maps*⁹) in Folgestudien denkbar. Gleiches wäre auch im Zusammenhang mit einer tiefergehenden Untersuchung der Hoffnungen und Ängste möglich. Im Rahmen dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass Hoffnungen und Ängste mit Bezug zur Grünen Gentechnik existieren, weshalb eine Thematisierung dieser Empfindungen und Assoziationen im Unterricht vorgeschlagen wird. Um entsprechende Auswirkungen einer Thematisierung im Unterricht zu überprüfen, sollten zudem langfristige Veränderungen der Hoffnungen und Ängste untersucht werden.

Im Rahmen des Themas Grüne Gentechnik ist der Einsatz von Diskussionen im Unterricht mit Blick auf die kontroverse öffentliche Debatte notwendig. Die Ergebnisse dieser Arbeit haben gezeigt, dass hierbei ein Lehrer-zentrierter Diskussionsansatz in Bezug auf die kognitive Leistung und Auslastung der Schüler am effizientesten ist. Neue und komplexe Themenbereiche wie die Grüne Gentechnik können beim Einsatz Schüler-zentrierter Ansätze zur geistigen Überlastung der Schüler führen, weshalb eine schrittweise Vorbereitung und Hinführung empfohlen wird (Day & Bryce, 2011). Dabei sollte zunächst grundlegendes Fachwissen vermittelt und zudem Kommunikations- und Argumentationsfähigkeiten geübt werden. Eine weiterführende Forschung wäre in Bezug auf die adäquate Vorbereitung von Schüler-zentrierten Diskussionsformen denkbar, wobei auch ein Bezug zur Bewertungskompetenz der Schüler hergestellt werden könnte.

Die Notwendigkeit praktischer Laborerfahrungen im Biologieunterricht ist unbestritten (Glowinski & Bayrhuber, 2011; Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007), dies wurde im Rahmen dieser Arbeit im Zusammenhang mit dem außerschulischen Lernort Labor bekräftigt. Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass aktive Laborerfahrungen besonders den Lernerfolg von

⁹ Fachterminus auf Studien des englischen Sprachraums basierend ohne deutsche Entsprechung.

Mädchen begünstigen. Außerdem wurde die Bedeutung der intrinsischen Motivation für ein erfolgreiches Lernen im außerschulischen Lernort Labor gezeigt. Um eine ganzheitliche naturwissenschaftliche Grundbildung zu fördern und die immer noch existierenden geschlechtsspezifischen Unterschiede zu überwinden (Fortus & Vedder-Weiss, 2014), wird die Verbesserung von Qualität und Quantität von Laboraktivitäten im Unterricht empfohlen. Eine weiterführende Forschung ist vor allem in Bezug auf eine langfristige Veränderung des Interesses, der Motivation und der Einstellung von Mädchen gegenüber den Naturwissenschaften denkbar.

D. Literaturverzeichnis der Zusammenfassung

- Akçay, H., & Yager, R. E. (2010). The impact of a science/technology/society teaching approach on student learning in five domains. *Journal of Science Education and Technology, 19*(6), 602–611.
- Areepattamannil, S., Freeman, J. G., & Klinger, D. A. (2011). Influence of motivation, self-beliefs, and instructional practices on science achievement of adolescents in Canada. *Social Psychology of Education, 14*(2), 233-259.
- Ausubel, D. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Ayres, P. (2006). Using subjective measures to detect variations of intrinsic cognitive load within problems. *Learning and Instruction, 16*(5), 389–400.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science, 255*(5044), 556-559.
- Bannert, M. (2002). Managing cognitive load - recent trends in cognitive load theory. *Learning and Instruction, 12*(1), 139-146.
- Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst (Hrsg.). (2008). *Lehrplan für die Realschule* (2. Aufl.). München: Maiss.
- Bennett, J., Hogarth, S., Lubben, F., Campbell, B., & Robinson, A. (2010). Talking science: The research evidence on the use of small group discussions in science teaching. *International Journal of Science Education, 32*(1), 69–95.
- Bennett, J., Lubben, F., & Hogarth, S. (2007). Bringing science to life: A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science Education, 91*(3), 347-370.
- Born, B. (2007). *Lernen mit Alltagsphantasien*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Bühner, M., & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. München: Pearson Studium.
- Burkam, D. T., Lee, V. E., & Smerdon, B. A. (1997). Gender and science learning early in high school: Subject matter and laboratory experiences. *American Educational Research Journal, 34*(2), 297-331.
- Chang, C.-Y. (2003). Teaching earth sciences: Should we implement teacher-directed or student-controlled CAI in the secondary classroom? *International Journal of Science Education, 25*(4), 427–438.
- Connor, M., & Siegrist, M. (2010). Factors influencing people's acceptance of gene technology: The role of knowledge, health expectations, naturalness, and social trust. *Science Communication, 32*(4), 514-538.
- Costa-Font, M., Gil, J. M., & Traill, W. B. (2008). Consumer acceptance, valuation of and attitudes towards genetically modified food: Review and implications for food policy. *Food Policy, 33*(2), 99-111.

- Day, S. P., & Bryce, T. G. K. (2011). Does the discussion of socio-scientific issues require a paradigm shift in science teachers' thinking? *International Journal of Science Education*, 33(12), 1675–1702.
- 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(1), 61–84.
- Ekborg, M. A. (2008). Opinion building on a socio-scientific issue: The case of genetically modified plants. *Journal of Biological Education*, 42(2), 60-65.
- Ernst, J., & Theimer, S. (2011). Evaluating the effects of environmental education programming on connectedness to nature. *Environmental Education Research*, 17(5), 577-598.
- Field, A. P. (2009). *Discovering statistics using SPSS: (and sex and drugs and rock'n'roll)* (3. Aufl.). Los Angeles: Sage.
- Fonseca, M. J., Costa, P., Lencastre, L., & Tavares, F. (2012). Multidimensional analysis of high-school students' perceptions about biotechnology. *Journal of Biological Education*, 46(3), 129-139.
- Fortus, D., & Vedder-Weiss, D. (2014). Measuring students' continuing motivation for science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(4), 497-522.
- Franke, G. (2010). *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* (Doktorarbeit). Universität Bayreuth, Bayreuth.
- Franke, G., & Bogner, F. X. (2011). Conceptual change in students' molecular biology education: Tilting at windmills?. *The Journal of Educational Research*, 104(1), 7-18.
- Franke, G., Scharfenberg, F.-J., & Bogner, F. X. (2013). Investigation of students' alternative conceptions of terms and processes of gene technology. *International Scholarly Research Network Education*, 2013.
- Fröhlich, G. (2012). *Umsetzung verschiedener didaktischer Theorien im außerschulischen Unterricht: Potentiale und Grenzen des wiederentdeckten Lernorts Bauernhof* (Doktorarbeit). Universität Bayreuth, Bayreuth.
- Gebhard, U., Feldmann, K., & Bremekamp, E. (1994). Vorstellungen von Jugendlichen zur Gentechnik und Fortpflanzungsmedizin. In E. Bremekamp (Hrsg.), *Faszination Gentechnik und Fortpflanzungsmedizin* (11–25). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Gerstner, S., & Bogner, F. X. (2009). Concept map structure, gender and teaching methods: An investigation of students' science learning. *Educational Research*, 51(4), 425–438.
- Gilbert, J. K. (2006). On the nature of "context" in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976.
- Glowinski, I. (2007). *Schülerlabore im Themenbereich Molekularbiologie als Interesse fördernde Lernumgebungen* (Doktorarbeit). Universität Kiel, Kiel.

- Glowinski, I., & Bayrhuber, H. (2011). Student labs on a university campus as a type of out-of-school learning environment: Assessing the potential to promote students' interest in science. *International Journal of Environmental and Science Education*, *4*(4), (371-392).
- Glynn, S. M., Taasoobshirazi, G., & Brickman, P. (2007). Nonscience majors learning science: A theoretical model of motivation. *Journal of Research in Science Teaching*, *44*(8), 1088-1107.
- Glynn, S. M., Taasoobshirazi, G., & Brickman, P. (2009). Science motivation questionnaire: Construct validation with nonscience majors. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*(2), 127-146.
- Granger, E. M., Bevis, T. H., Saka, Y., Southerland, S. A., Sampson, V., & Tate, R. L. (2012). The efficacy of student-centered instruction in supporting science learning. *Science*, *338*(6103), 105–108.
- Gray, D. S., & Bryce, T. G. K. (2006). Socio-scientific issues in science education: Implications for the professional development of teachers. *Cambridge Journal of Education*, *36*(2), 171–192.
- Heleski, C. R., & Zanella, A. J. (2006). Animal science student attitudes to farm animal welfare. *Anthrozoos: A Multidisciplinary Journal of the Interactions of People & Animals*, *19*(1), 3-16.
- Helm, H. (1980). Misconceptions in physics amongst South African students. *Physics Education*, *15*(2), 92.
- Hofstein, A., & Mamlok-Naaman, R. (2007). The laboratory in science education: The state of the art. *Chemistry education research and practice*, *8*(2), 105-107.
- House, L., Lusk, J., Jaeger, S., Traill, W.B., Moore, M., Valli, C., Morrow, B., & Yee, W.M.S (2004). Objective and subjective knowledge: Impacts on consumer demand for genetically modified foods in the United States and the European Union. *AgBioForum*, *7*(3), 113–123.
- Hovardas, T., & Korfiatis, K. J. (2006). Word associations as a tool for assessing conceptual change in science education. *Learning and Instruction*, *16*(5), 416-432.
- Hsu, Y. (2008). Learning about seasons in a technologically enhanced environment: The impact of teacher-guided and student-centered instructional approaches on the process of students' conceptual change. *Science Education*, *92*(2), 320–344.
- James, C. (2013). *Global status of commercialized biotech/GM crops: 2013* (ISAAA Brief No. 46). Ithaca: ISAAA.
- Johnson, R. B., & Onwuegbuzie, A. J. (2004). Mixed methods research: A research paradigm whose time has come. *Educational Researcher*, *33*(7), 14-26.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1998). Levels of expertise and instructional design. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *40*(1), 1-17.
- Kellert, S. R. (1985). Attitudes toward animals: Age-related development among children. *Journal of Environmental Education*, *16*(3), 29-39.

- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist, 41*(2), 75–86.
- Knight, A. J. (2009). Perceptions, knowledge and ethical concerns with GM foods and the GM process. *Public Understanding of Science, 18*(2), 177–188.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics, 33*(1), 159-174.
- Lee, V. E., & Burkam, D. T. (1996). Gender differences in middle grade science achievement: Subject domain, ability level, and course emphasis. *Science Education, 80*(6), 613-650.
- Lehesvuori, S., Viiri, J., Rasku-Puttonen, H., Moate, J., & Helaakoski, J. (2013). Visualizing communication structures in science classrooms: Tracing cumulativity in teacher-led whole class discussions. *Journal of Research in Science Teaching, 50*(8), 912-939.
- Levinson, R. (2006). Towards a theoretical framework for teaching controversial socio-scientific issues. *International Journal of Science Education, 28*(10), 1201–1224.
- Lewis, J., & Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education, 26*(2), 195-206.
- Lewis, J., Leach, J., & Wood-Robinson, C. (2000). All in the genes? - young people's understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education, 34*(2), 74-79.
- Lord, T. R. (2001). 101 reasons for using cooperative learning in biology teaching. *The American Biology Teacher, 63*(1), 30-38.
- Lunetta, V. N. (1998). The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. In B. Fraser & K. Tobin (Hrsg.), *International handbook of science education* (pp. 249-262). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Maghari, B. M., & Ardekani, A. M. (2011). Genetically modified foods and social concerns. *Avicenna Journal of Medical Biotechnology, 3*(3), 109–117.
- Massarani, L., & Moreira, I. (2005). Attitudes towards genetics: A case study among Brazilian high school students. *Public Understanding of Science, 14*(2), 201-212.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? *American Psychologist, 59*(1), 14-19.
- Mayring, P. (2008): *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. Weinheim: Beltz.
- Meece, J. L., Glienke, B. B., & Burg, S. (2006). Gender and motivation. *Journal of School Psychology, 44*(5), 351-373.
- Millar, R. (2005). Contextualised science courses: Where next? In P. Nentwig & D. Waddington (Hrsg.), *Making it relevant: Context based learning of science* (S. 323-346). Münster: Waxmann.
- Miller, P. H., Slawinski Blessing, J., & Schwartz, S. (2006). Gender differences in high-school students' views about science. *International Journal of Science Education, 28*(4), 363-381.
- Novak, J. D. (1977). *A theory of education*. Ithaca: Cornell University Press.

- Odom, A. L., Stoddard, E. R., & LaNasa, S. M. (2007). Teacher practices and middle-school science achievements. *International Journal of Science Education*, 29(11), 1329–1346.
- Orth, U. R., & De Marchi, R. (2007). Endurance of advertising-evoked brand image beliefs in the face of product trial. *Journal of Food Products Marketing*, 13(1), 31-44.
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049-1079.
- Paas, F. G. W. C., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63–71.
- Paas, F. G. W. C., Tuovinen, J. E., Van Merriënboer, J. J. G., & Darabi, A. A. (2005). A motivational perspective on the relation between mental effort and performance: Optimizing learner involvement in instruction. *Educational Technology Research and Development*, 53(3), 25-34.
- Paas, F. G. W. C., & Van Merriënboer, J. J. G. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 35(4), 737–743.
- Paas, F. G. W. C., Van Merriënboer, J. J. G., & Adams, J. (1994). Measurement of cognitive load in instructional research. *Perceptual and Motor Skills*, 79, 419–430.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Prokop, P., Lešková, A., Kubiátko, M., & Diran, C. (2007). Slovakian students' knowledge of and attitudes toward biotechnology. *International Journal of Science Education*, 29(7), 895-907.
- Reitschert, K., & Hössle, C. (2007). Wie Schüler ethisch bewerten - Eine qualitative Untersuchung zur Strukturierung und Ausdifferenzierung von Bewertungskompetenz in bioethischen Sachverhalten bei Schülern der Sek. I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 125–143.
- Richtlinie 2001/18/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. März 2001 über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt und zur Aufhebung der Richtlinie 90/220/EWG des Rates (2001). Abrufbar unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2001:106:0001:0038:DE:PDF> [Zugriff: 15.11.2013]
- Schanke, J., & Watson, J. (1998): MasterPure™ Complete DNA and RNA Purification Kit. *EPICENTRE Forum*, 5(2), 12.
- Scharfenberg, F.-J. (2005). *Experimenteller Biologieunterricht zu Aspekten der Gentechnik im Lernort Labor: empirische Untersuchung zu Akzeptanz, Wissenserwerb und Interesse* (Doktorarbeit). Universität Bayreuth, Bayreuth.

- Scharfenberg, F. J., & Bogner, F. X. (2010). Instructional efficiency of changing cognitive load in an out-of-school laboratory. *International Journal of Science Education, 32*(6), 829–844.
- Scharfenberg, F. J., & Bogner, F. X. (2011). A new two-step approach for hands-on teaching of gene technology: effects on students' activities during experimentation in an outreach gene technology lab. *Research in Science Education, 41*(4), 505-523.
- Sekretariat der Kultusministerkonferenz (KMK) (2005). *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz – Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Bildungsabschluss – Beschluss vom 16.12.2004*. München: Luchterhand.
- Sinclair, J. McH., & Coulthard, R. M. (1975). *Towards an analysis of discourse: The English used by teachers and pupils*. London: Oxford University Press.
- Sjöberg, L. (2008). Genetically modified food in the eyes of the public and experts. *Risk Management, 10*(3), 168-193.
- Sorgo, A., & Ambrožič-Dolinšek, J. (2010). Knowledge of, attitudes toward, and acceptance of genetically modified organisms among prospective teachers of biology, home economics, and grade school in Slovenia. *Biochemistry and Molecular Biology Education, 38*(3), 141-150.
- Stewart, P. A., & McLean, W. P. (2008). Public perceptions of benefits from and worries over plant-made industrial products and plant-made pharmaceuticals: The influence of institutional trust. *Review of Policy Research, 25*(4), 333-348.
- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. *Psychology of Learning and Motivation, 43*, 215-266.
- Sweller, J. (2006). How the human cognitive system deals with complexity. In J. Elen & R. Clark (Hrsg.), *Handling complexity in learning environments: Theory and research* (pp. 13-25). Amsterdam: Elsevier.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review, 10*(3), 251-296.
- Taraban, R., Box, C., Myers, R., Pollard, R., & Bowen, C. W. (2007). Effects of active-learning experiences on achievement, attitudes, and behaviors in high school biology. *Journal of Research in Science Teaching, 44*(7), 960–979.
- Trexler, C. J., Johnson, T., & Heinze, K. (2000). Elementary and middle school teacher ideas about the agri-food system and their evaluation of agri-system stakeholders' suggestions for education. *Journal of Agricultural Education 41*(1), 30-38.
- Van Gog, T., & Paas, F. G. W. C. (2008). Instructional efficiency: Revisiting the original construct in educational research. *Educational Psychologist, 43*(1), 16–26.
- Verordnung Nr. 1829/2003/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. September 2003 über genetisch veränderte Lebensmittel und Futtermittel (2003). Abrufbar unter http://www.bfr.bund.de/cm/343/verordnung_eg_1829_ueber_genetisch_veraenderte_lebensmittel_und_futtermittel.pdf [Zugriff: 11.08.2014]

- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., & Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction, 11*(4), 381-419.
- Walberg, H. J. (1990). Productive teaching and instruction: Assessing the knowledge base. *The Phi Delta Kappan, 71*(6), 470-478.
- Wells, G., & Arauz, R. M. (2006). Dialogue in the classroom. *The Journal of the Learning Sciences, 15*(3), 379-428.
- Wnuk, A., & Kozak, M. (2011). Knowledge about and attitudes to GMOs among students from various specializations. *Outlook on Agriculture, 40*(4), 337-342.
- Wright, D., Stewart, B. R., & Birkenholz, R. J. (1994). Agricultural awareness of eleventh grade students in rural schools. *Journal of Agricultural Education, 35*(4), 55-60.

E. Teilarbeiten

E. 1 Publikationsliste

- A Goldschmidt, M., Scharfenberg, F.-J. & Bogner, F. X. (in press).
Instructional efficiency of different discussion approaches in an outreach laboratory:
Teacher-guided versus student-centered.
The Journal of Educational Research.
doi:10.1080/00220671.2014.917601
- B Goldschmidt, M. & Bogner, F. X. (2013).
Associations with plant genetic engineering: A perception analysis of students' hopes
and fears.
Studies in Agricultural Economics, 115(3), 143-149.
doi:10.7896/j.1314
- C Fröhlich, G., Goldschmidt, M. & Bogner, F. X. (2013).
The effect of age on students' conceptions of agriculture.
Studies in Agricultural Economics, 115(1), 61-67.
doi:10.7896/j.1301
- D Goldschmidt, M. & Bogner, F. X. (2015).
Learning about genetic engineering in an outreach laboratory: Influence of motivation
and gender on students' cognitive achievement.
*International Journal of Science Education Part B: Communication and Public
Engagement*. Advance online publication.
doi:10.1080/21548455.2015.1031293

E. 2 Darstellung des Eigenanteils

Das dieser Arbeit zugrunde liegende Unterrichtsmodul und die dazugehörigen Materialien habe ich eigenständig konzipiert und im Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik selbst implementiert. Die Evaluations-Konzepte (Wissenstest, Hoffnungen und Ängste, etc.) wurde von mir entwickelt oder entsprechend angepasst und die Datenerhebung und -analyse von mir durchgeführt, ausgenommen davon ist die Erhebung und Auswertung der Daten der jüngeren Alterskohorte (5./6. Klasse) der Teilarbeit C. Die ersten beiden Teilarbeiten (A und B) sowie die Teilarbeit D wurden von mir in Hauptverantwortung konzipiert, verfasst und überarbeitet. Herr Dr. Franz-Josef Scharfenberg hat bei der Überarbeitung der Teilarbeit A mitgewirkt und ist deshalb Mitautor. Die Hauptverantwortung für das Verfassen der Teilarbeit C lag bei Dr. Gabriele Abraham geb. Fröhlich, ich hatte Anteil an der Auswertung der Daten und der Überarbeitung der Arbeit.

E. 3 Teilarbeit A

Goldschmidt, M., Scharfenberg, F.-J. & Bogner, F. X. (in press).

Instructional efficiency of different discussion approaches in an outreach laboratory:
Teacher-guided versus student-centered.

The Journal of Educational Research.

doi:10.1080/00220671.2014.917601

This is an Accepted Manuscript of an article published by Taylor & Francis in The Journal of Educational Research, available online: <http://dx.doi.org/10.1080/00220671.2014.917601>.

**Instructional efficiency of different discussion approaches in an outreach laboratory:
Teacher-guided versus student-centered**

The Journal of Educational Research

Marlen Goldschmidt*, Franz-Josef Scharfenberg* & Franz X. Bogner*

*Z-MNU (Center of Mathematics & Science Education), Department of Biology Education,
University of Bayreuth, Germany

Corresponding author:

Marlen Goldschmidt

Department of Biology Education, University of Bayreuth, Universitätsstraße 30, 95447,
Bayreuth, Germany

Email: marlen.goldschmidt@uni-bayreuth.de

Phone: +49 (0) 921 55 2597

Fax: +49 (0) 921 55 2696

Abstract

Given the rapid development of modern biotechnology, attention to socio-scientific issues in educational contexts is crucially important to support students in becoming responsible citizens. Our research focused on the impact of discussing socio-scientific issues during biology lessons under three different treatments (teacher-guided, student-centered, text-only), comparing these treatments with regard to cognitive achievement, cognitive load, and instructional efficiency. The biology lessons were part of an educational intervention with Bavarian 10th graders (N = 583) in an out-of-school laboratory on plant genetic engineering. The teacher-guided group performed significantly better regarding knowledge increase, while the cognitive load of the student-centered group was significantly higher. Accordingly, teacher-guided discussion led to the highest instructional efficiency, suggesting an enhanced cognitive achievement through the teacher's guidance. However, a student-centered approach allows students to contribute more of their own opinions, making further research in this area desirable. Finally, we discuss potential implications for teaching and teacher education.

Keywords

cognitive knowledge, mental effort, out-of-school setting, science education, socio-scientific issues

As a result of the rapid progress and the innovative potential of modern biotechnology, citizens are continuously confronted with new ethical, social, political, and economic questions concerning science and technology, requiring them to make informed decisions. Although the influence of science and technology on people's daily lives is very strong, people in turn influence the direction and use of science and technology (Roberts, 2007). Thus, society carries responsibility in finding reconcilable solutions in the face of socio-scientific issues. To prepare young students to confront these issues as responsible members of society, teachers in the context of science education need to pay attention to controversial socio-scientific issues. In Germany, as in many other countries, national education standards require that socio-scientific issues be discussed in science lessons, encouraging students to reflect upon the issues and develop their individual points of view (*Sekretariat der Kultusministerkonferenz* (The Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs), 2005; National Science Teachers Association, 2010). In the following sections, we first summarize science education research with respect to socio-scientific issues. Subsequently, we introduce our approach and formulate our research questions.

Socio-scientific Issues in Science Education

Typically, socio-scientific issues are defined by three characteristics: (1) They involve a substantial number of different groups; (2) because the groups start from different premises or hold contrary points of view, they often offer conflicting solutions; and (3) they believe that an issue cannot be resolved by referring to scientific evidence alone (Levinson, 2006).

As to which socio-scientific issues should be addressed in educational contexts, Hodson (2003) suggested seven crucial areas of concern: human health; land, water, and mineral resources; food and agriculture; energy resources and consumption; industry; information transfer and transportation; and ethics and social responsibility. Falling under these broad areas of concern, there are numerous issues that can be suitably integrated into biology lessons, for example, avian flu and swine flu (Lee, 2012), sustainability (Wals & Jickling, 2002), genetically modified food (Walker & Zeidler, 2007), climate change (Day & Bryce, 2013), biological conservation (Grace, 2009), and genetic engineering (Lewis & Leach, 2006).

Plant genetic engineering is a highly topical issue, particularly with respect to the high growth rates and worldwide expansion during the last decade, making it an excellent issue to address in the classroom. The cultivation of genetically modified (GM) plants and their availability on the global market have increased rapidly (Maghari & Ardekani, 2011), even reaching a 100-fold increase since the mid-1990s (James, 2012). Nowadays, the most often cultivated GM plants are soybean and maize, followed by cotton and canola. Although European countries, such as Spain, Portugal, the Czech Republic, Slovakia, and Romania, cultivate GM maize (James, 2012), the support for GM products in Germany ranges from negligible to non-existent. And yet public debate continues: On the one hand, supporters emphasize the huge benefits for farmers and consumers as well as environmental advantages, such as the potential reduction in pesticide pollution. On the other hand, opponents point to the hazardous risks and unpredictable long-term effects (Knight, 2009).

We chose the issue of plant genetic engineering for our educational intervention for two main reasons. First, this socio-scientific issue met the curricular guidelines for our target group, and second, this topic was suitable for implementing our concept of having a theoretical, a hands-on experimental and a discussion phase in our educational intervention. The current study focuses on the discussion phase of the educational intervention. We therefore provide a brief introduction to discussions within the framework of socio-scientific issues in the following section.

In the context of socio-scientific issues, the term *discussion* describes a wide range of classroom discourses, like debate, argumentation, conversation, and so forth (Day & Bryce, 2011). The most relevant concepts deal with teaching social skills as well as training communication and argumentation skills, on the one hand, and with preparing to critically analyze controversial issues and make individual decisions, on the other. Sadler and Donnelly (2006) recommend a more explicit focus on socio-scientific discussions in science classrooms in order to improve and practice reasoning and argumentation skills. However, such classroom discussions of socio-scientific issues are rare, and when they occur, they are usually teacher-centered and often of poor quality (Day & Bryce, 2011). In light of this, students' viewpoints may not play a central role. In many cases, their individual views are not clarified and connected to scientific knowledge (Day & Bryce, 2011). Moreover, many science teachers feel uncomfortable

in initiating and guiding classroom discussions (Gray & Bryce, 2006), not only because such procedures are time-consuming, but also because active discussions involving as many students as possible require teachers to change their role to that of a moderator.

The importance of discussing socio-scientific issues combined with the frequent absence of such discussions in the classroom makes investigating discussion approaches within educational contexts of great research interest. Particularly science teachers, who usually teach scientific concepts and factual knowledge, are in need of feasible methods for implementing lively and fruitful discussions that enable students to reflect on controversial issues. Yet much research still needs to be done on the best methods to suitably introduce socio-scientific issues into biology lessons as well as to effectively teach these controversial issues. Although student-centered approaches have been recommended in science teaching to motivate students and enhance learning (Bennett, Hogarth, Lubben, Campbell, & Robinson, 2010; Mortimer & Scott, 2003; Taraban, Box, Myers, Pollard, & Bowen, 2007; Wells & Arauz, 2006), the implementation of student-centered discussions in the context of socio-scientific issues is rare. In many cases, classroom discussions are characterized by triadic patterns of teacher initiation (I), students' response (R), and teacher follow-up in terms of feedback or evaluation (F/E) (Lehesvuori, Viiri, Rasku-Puttonen, Moate, & Helaakoski, 2013). This triadic dialogue (Lemke, 1990) is generally known as the IRF sequence (Sinclair & Coulthard, 1975) or IRE sequence (Mehan, 1979). This triadic pattern of communication might help teachers lead discussions in the intended direction, but students' opportunities to participate in a discussion are quite limited as a result. Such an approach has often been criticized as inappropriate for developing open and free discussion which gives students a realistic chance to contribute their own opinions and to debate from different points of view (e.g., Day & Bryce, 2013). A further criticism was given by Lemke (1990), who criticized the lack of any possibility for students' to arrive at their own constructs by linking newly acquired scientific knowledge to their individual everyday ideas.

To address these concerns, more student-centered approaches for the teaching of controversial socio-scientific issues are required. However, relevant empirical educational research is rare: only a few large-scale studies have evaluated different approaches with regard to efficiency, and these studies often contradict each other (Granger et al., 2012). For instance, comparing teacher-centered and student-centered approaches has yielded inconsistent results:

Gerstner and Bogner (2009) as well as Chang (2003) report teacher-centered approaches as more effective in terms of learning success, yet other studies report the contrary (e.g., Akcay & Yager, 2010; Hsu, 2008; Odom, Stoddard, & LaNasa, 2007). These studies, however, have not addressed the efficiency of both types of approaches in the context of socio-scientific issues with a particular focus on students' discussions, an area of study that has largely been unexplored (Levinson, 2006).

Approach of the Present Study and Research Questions

The present study introduced a discussion phase at the end of an educational intervention. In the case of our study, we define the term "discussion" as an exchange of arguments and viewpoints with regard to the risk and benefits of genetic engineering. In line with the studies mentioned above, we implemented different approaches to investigate the effects of the different discussion phases in our three treatment groups on cognitive achievement (i.e., monitoring the knowledge increase after the educational intervention), on cognitive load (i.e., measuring the mental effort expended during the discussion), and on instructional efficiency.

Since instructional efficiency describes the relative efficiency of different instructional conditions by combining cognitive achievement data and cognitive load data (Paas & Van Merriënboer, 1993), it is possible to consider the cognitive expense at which the students' knowledge increase is achieved (Paas, Van Merriënboer, & Adam, 1994). The basis for such considerations is cognitive load theory (Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998): Cognitive load is defined as the mental activity of working memory (Baddeley, 1992) that is required to complete a task. Due to the limited capacity of working memory, dealing with a large amount of novel, unorganized information becomes increasingly difficult because learners have to find an appropriate form of organization in order to construct cognitive schemata (Van Merriënboer & Ayres, 2005). Sweller et al. (1998) identified three cognitive load components: (1) intrinsic load, which is caused by the element interactivity of the presented content and is influenced by the individual expertise of the learners; (2) extraneous load, which refers to the instructional mode and does not contribute to or, at worst, hampers students' learning; and (3) germane load, which is necessary for individually processing information and transferring it to long-term memory, thereby enabling learning. These components are regarded as additive (Sweller,

2006): Reducing intrinsic and/or extraneous load may potentially increase the germane component, which is of prime importance for learning.

Literature referring to cognitive load theory with regard to socio-scientific discussions is rare (e.g., Schellens & Valcke, 2005). However, a high cognitive load during discussions is assumed, since students have to cope with the high complexity of such issues (Schellens & Valcke, 2005). Employing collaborative learning settings, such as student-centered group discussions, is one possible way of reducing the individual cognitive load resulting from such discussions. Students are thought to profit from each other: Each student's output is pre-structured due to his or her individual cognitive schema creation. This pre-structuring may benefit the other group members by making the output more easily accessible for them, thus lowering individual cognitive load (Schellens & Valcke, 2005) and enhancing cognitive achievement.

The objectives of the current study are based on the assumptions mentioned above. To investigate socio-scientific discussions with regard to cognitive load theory, we compared three different discussion approaches (teacher-guided, student-centered, text-only) and considered the effects on students' cognitive load, cognitive achievement, and instructional efficiency. We raised the following two research questions:

1. Are there any differences between the teacher-guided and student-centered discussion approaches with regard to cognitive achievement or cognitive load?
2. Which discussion approach is the most instructionally efficient?

Methodology

Educational Intervention

The educational intervention took place in our outreach laboratory, an out-of-school setting where we offer hands-on projects unavailable at schools due to resource and time limitations. We implemented a one-day module about plant genetic engineering, including three phases: a theoretical introduction phase, a hands-on experimental phase, and a discussion phase about the risks and benefits of GM maize. We started the day with a theoretical phase about plant genetic engineering, first updating students' prior knowledge about cellular structures and genetics and then focusing on the techniques and applications of plant genetic engineering. The

subsequent experimental phase started with a pre-laboratory phase introducing the working place and the laboratory equipment. Afterwards, students extracted deoxyribonucleic acid (DNA) from maize seeds (Di Bernardo, Del Gaudio, Galderisi, Cascino, & Cipollaro, 2007) and performed agarose gel electrophoresis to visualize the DNA. For both experiments, we followed a two-step approach (Scharfenberg & Bogner, 2010) consisting of a minds-on and a hands-on step for each experiment. During the minds-on step, we conducted a short focused discussion about the experimental procedures and the theoretical aspects in order to clarify the subsequent complex hands-on activities. Additionally, all participants were prompted to describe their views about the upcoming sequence of experimental actions on a worksheet. The students completed the experimental phase by interpreting their results. The experimental phase's sequence was similar for all treatment groups and the control group. Following the experimental phase, there was a GM maize discussion phase with a different mode of instruction for each treatment group (see below).

Independent variable and the design of the study

The mode of instruction during the GM maize discussion phase was the independent variable of our study. Three different modes of instruction (teacher-guided, student-centered, text-only) corresponded to the three different treatment groups, with one additional group as a control (see Table 1). In accordance with a previous study concerning students' perceptions with regard to plant genetic engineering (Goldschmidt & Bogner, 2013), we focused the GM maize discussion on the most relevant risks and benefits often addressed in public discussions (e.g., ecological aspects such as the effects on other species and unpredictable long-term effects, economic aspects for farmers and agribusiness, world hunger, and alternative pest control). The first treatment included a teacher-guided discussion: All information about the risks and benefits of GM maize was presented by the teacher, who moderated and guided the classroom discussion (about 30 min).

The second treatment consisted of a student-centered discussion: To prepare for this discussion, participants were separated into five work groups. Each group played one role, organic farmers, environmentalists, scientists, economists, or GM maize farmers, and received a preparation text accordingly. The preparation texts summarized the information about the

risks and benefits of GM maize from the different points of view of each role. Each group analyzed their text and worked out the most relevant arguments (15 min). During the following role play phase, each work group represented their role by presenting their main arguments (each work group about 2 min). This was followed by a general classroom discussion about the risks and benefits (about 10 min), with the teacher taking a supportive role by just answering specific requests or giving additional information if necessary. From a cognitive load perspective, we assumed that the second treatment reduces cognitive load in comparison to the first treatment because students first dealt with the new knowledge in their work groups, providing them the opportunity to organize and structure the knowledge individually. Any new contributions from the other work groups afterwards during the role play phase should be easier to deal with since a cognitive schema already existed (Van Merriënboer & Ayres, 2005).

In the text-only group (third treatment), students worked alone by reading a text about the risks and benefits of GM maize and taking individual notes to summarize the most relevant aspects (15 min). Afterwards, some students presented their results to their classmates, and the teacher answered questions or gave additional information if necessary (about 15 min). The control group did not conduct any discussion. To standardize conditions and avoid teacher effects, the educational intervention was implemented by one teacher previously unknown to all students.

Table 1. Quasi-experimental design of the study.

Group	Treatment (1) (<i>n</i> = 130)	Treatment (2) (<i>n</i> = 99)	Treatment (3) (<i>n</i> = 190)	Control (4) (<i>n</i> = 48)
Pre-test	T1	T1	T1	T1
Delay	One week			
Educational intervention				
GM-maize discussion	Teacher-guided discussion	Student-centered discussion	Text-only group	Without discussion
Measure of mental effort	✓	✓	✓	-
Post-test	T2	T2	T2	T2
Delay	Six weeks			
Retention test	T3	T3	T3	T3

Dependent variables

We considered three dependent variables in the current study: cognitive achievement (i.e., monitoring the knowledge increase after the educational intervention), cognitive load (i.e., measuring the mental effort during discussion), and instructional efficiency. According to the definition used by Jarvis (2013), we defined knowledge as cognitive achievement. To assess students' cognitive achievement, we prepared a knowledge questionnaire focusing on the different phases of the educational intervention (theoretical introduction phase, experimental phase, and GM-maize discussion phase). For the current study, we analyzed a subset of seven items which were relevant to the GM maize discussion phase (for item examples, see Table 2). The reliability analysis of the questionnaire (subset of seven items) yielded a Cronbach's alpha value of .74. The content validity of the items from the knowledge questionnaire was examined by a number of subject matter experts. We applied a pre-post-follow-up design to our study: The pre-test (T1) was presented one week before the educational intervention, the post-test (T2) immediately after the intervention, and the retention test (T3) six weeks later. Students were unaware of any testing schedules. To control for any effects of the repeated measures design, an additional fifth student group (*n* = 116) completed the questionnaire three times without

participating in the educational intervention. As we expected, the analysis revealed no significant effects of the repeated measurement (ANOVA: $F(2, 230) = 2.741, p = .07$). For further analysis, we calculated the difference values between the three measured knowledge sum scores (T1, T2, T3), yielding the short-term (T2-T1) and the long-term knowledge increase (T3-T1).

To assess cognitive load, we followed the method of Paas et al. (1994, p. 420; for a review, see Van Gog & Paas, 2008), measuring students' mental effort as "an index of cognitive load". Mental effort is defined as "the aspect of cognitive load that refers to the cognitive capacity that is actually allocated to accommodate the demands imposed by the task; thus, it can be considered to reflect the actual cognitive load" (Paas, Tuovinen, Tabbers, & Van Gerven, 2003, p. 64). For this purpose, we applied a uni-dimensional nine-point self-rating scale (Paas et al., 1994) where students indicated their actual mental effort during task performance by giving a score for one item. The scale varied from "1 – very, very low mental effort" to "9 – very, very high mental effort". We applied the scale at seven different points of time during the educational intervention (several times during theoretical phase, pre-laboratory phase, experimental phase, and discussion phase). The mental effort scale is widely used in cognitive load research (e.g., Van Gog & Paas, 2008) and has previously been assessed as valid and sensitive (Ayres, 2006). The concurrent validity has been shown by the sensitivity in detecting variations in task complexity (Paas et al., 1994) and intrinsic load variations during task performance (Ayres, 2006). Considering the reliability of the mental effort scale, several studies have reported high reliability coefficients (Cronbach's alpha) ranging between .82 and .93 (e.g., Kester, Kirschner, & Van Merriënboer, 2004; Paas & Van Merriënboer, 1994; Paas, Van Merriënboer, & Adam, 1994). Our reliability analysis of the mental effort scale yielded a Cronbach's alpha value of .76.

With respect to the measurement of mental effort, Whelan (2007) pointed to a possible influence of individual differences that might have a significant effect. To overcome these potential differences in the mental effort ratings, we anchored the midpoint of the scale by linking it to the typical effort necessary in biology lessons at school (Franke & Bogner, 2011). Another potential influencing variable is the time invested in a specific task (Paas et al., 2003): It is debatable whether a rating would be equal if the times spent on a particular task were different. To detect any possible influence due to the time spent, we controlled for this variable

and found no time differences between the three treatment groups (ANOVA: $F(2, 416) = 0.689$, $p > .05$).

Having addressed the previously mentioned influencing factors, we then conducted further analyses, calculating the mental effort mean scores for the different phases of the intervention (theoretical introduction phase, experimental phase, and GM-maize discussion phase) and used the mean score of the GM-maize discussion phase for calculating the instructional efficiency. We calculated the instructional efficiency (E) as the relative efficiency of the different GM-maize discussion approaches by combining the short-term knowledge increase (performance) and the mental effort scores ($E = (z_{\text{performance}} - z_{\text{mental effort}})/\sqrt{2}$; Paas & Van Merriënboer, 1993). In accordance with Van Gog and Paas (2008), we used the adapted form which includes a measure of the mental effort invested during the learning phase. Although we know the potential limitations of the adapted form of instructional efficiency, we chose this form because we considered the efficiency with respect to the learning process rather than to learning outcomes (Van Gog & Paas, 2008). We considered two potential effects which Paas, Tuovinen, Tabbers, and Van Gerven (2003) argued were essential when comparing the efficiency of different instructions: (1) A similar mental effort induces different performance, and (2) a different mental effort leads to similar performance.

Table 2. Item examples of the knowledge questionnaire (subset with items concerning the discussion phase).

Item	Item difficulty ^a
1 In Germany, GM foodstuffs: (a) are prohibited goods. (b) have to be labeled [correct]. (c) are not sold. (d) are banned export goods.	66.9
2 European corn borer caterpillars (<i>Ostrinia nubilalis</i>): (a) damage the roots of maize plants from outside. (b) release substances which are toxic for maize plants. (c) attack greenflies on the maize leaves. (d) damage the stalks of maize plants by chewing tunnels [correct].	29.5
3 What is the mandatory distance between GM maize fields and non-GM maize fields? (a) 15 meters. (b) 150 meters [correct]. (c) 1500 meters. (d) 15000 meters.	33.8

^aItem difficulty: Percentage of correct answers.

Sample

Our convenient sample consisted of 583 Bavarian 10th graders (in the final class of vocational secondary school, *Realschule*; Bavarian Ministry of Education, 2013), between 15 and 18 years of age ($M = 16.7$; $SD = 0.7$) from 29 different classes (quasi-experimental design). The gender was about equally distributed (51.2% females). We randomly assigned the classes to the treatment and control groups. Table 3 shows the distribution of age and gender in the different groups; we did not find any differences in age (ANOVA: $F(3, 463) = 0.477$, $p = .699$), and the gender distribution was equal in all groups ($\chi^2(3) = 1.292$, $p = .731$). Since genetic engineering is a compulsory part of the Bavarian 10th grade curriculum (Bavarian Ministry of

Education, 2008), a previous basic knowledge of the applications, risks, and benefits of this technique was expected.

Table 3. Age and gender distribution for the different treatment groups [teacher-guided discussion (1), student-centered discussion (2), text-only group (3)], and the control group without discussion (4) ($n = 467$).

Group	Age	Gender	
	Mean \pm SD	Female	Male
1 ($n = 130$)	16.6 \pm 0.6	54.6%	45.4%
2 ($n = 99$)	16.7 \pm 0.6	56.6%	43.4%
3 ($n = 190$)	16.7 \pm 0.7	51.6%	48.4%
4 ($n = 48$)	16.7 \pm 0.7	47.9%	52.1%

Statistics

For our statistical analyses, we used the software SPSS Statistics (Version 20.0.0). According to the central limit theorem (Field, 2009), we assumed our data to be normally distributed since the data originated from a large sample size ($n > 30$). Consequently, we applied parametric procedures and analyzed the between-group differences by using a one-way ANOVA and analyzed the within-group differences by using a repeated-measures ANOVA. For post-hoc comparisons of the one-way ANOVA, we used Hochberg's GT2 test procedure due to different subsample sizes (Field, 2009). For all significant results ($p < .05$), the corresponding effect sizes (r) were calculated according to Field (2009), considering values of .10 as a small effect, .30 as a medium effect, and .50 as a large effect (Cohen, 1992). For the post-hoc comparisons of the repeated-measures ANOVA, we used the Bonferroni correction (Field, 2009) and reported the effect size partial eta squared (partial η^2), considering values of .01 as a small effect, .06 as a medium effect, and .14 as a large effect (Bühner & Ziegler, 2009). We used a subsample size of $n \geq 28$ in order to detect a large effect size ($r = .50$) for all the relevant tests of significance, with a standard α -level of .05 and a power of .8 (Cohen, 1992).

Results

We first present the cognitive achievement data and then the mental effort data, subsequently combining both in the analysis of instructional efficiency.

Cognitive achievement

The analysis of the knowledge scores of the treatment groups (1 – 3) and the control group (4) (see Table 1) revealed significant short-term and long-term increases in knowledge within all groups (repeated-measures ANOVA: all $p < .001$, all partial $\eta^2 > .63$). Due to between-group differences in the students' prior knowledge (see Table 4), we calculated the difference values between the three measured knowledge scores (T2-T1 = short-term increase, T3-T1 = long-term increase, T2-T3 = decrease rate) and used them for further between-group analyses. Considering the between-group comparisons, the students' short-term increase and long-term increase in knowledge differed significantly (see Table 4 and Figure 1). The post-hoc comparisons using Hochberg's GT2 test procedure revealed that the knowledge increase in the group with the teacher-guided discussion (1) was significantly higher in comparison to the other groups (short-term: all $p < .05$; long-term: all $p < .01$). In contrast, the group with the student-centered discussion (2) and the text-only group (3) did not significantly differ from each other and from the control group (4). Moreover, the decrease rate of the four groups did not differ significantly.

Mental effort

With respect to the students' mental effort during the GM maize discussion phase, the mean scores of all three treatment groups differed significantly (see Table 4). For the group with the student-centered discussion (2), the post-hoc comparisons indicated a significantly higher mental effort compared to the teacher-guided discussion group (1) ($p < .05$). There were no statistically significant differences between the text-only group (3) and the other groups.

Instructional efficiency

We calculated the instructional efficiency of the different instructional modes during the GM maize discussion phase by combining the short-term knowledge increase and the mental effort

scores. The between-group comparisons revealed that the instructional mode had a significant effect (see Table 4 and Figure 2). The post-hoc tests indicated significantly higher scores ($p < .05$) for the instructional efficiency of the teacher-guided discussion (1), while the student-centered discussion (2) and the text-only group (3) scored equally. It should be noted that the instructional efficiency of the student-centered discussion (2) corresponded approximately with the average score ($E = 0$; Figure 2).

In summary, our results suggest that the higher short-term knowledge increase (performance), coupled with the lower mental effort during the discussion phase results in a significantly higher instructional efficiency in the teacher-guided discussion (1).

Table 4. Dependent variables [knowledge, mental effort, instructional efficiency (IE)] as a function of the mode of instruction during discussion phase [teacher-guided discussion (1), student-centered discussion (2), text-only group (3), and control group without discussion (4); $n = 467$].

Dependent variable	Mode of instruction							
	1 ($n = 130$)		2 ($n = 99$)		3 ($n = 190$)		4 ($n = 48$)	
	Mean	(95% CI)	Mean	(95% CI)	Mean	(95% CI)	Mean	(95% CI)
Knowledge ^a								
Prior (T1) ^b	2.15	(1.92, 2.38)	2.99	(2.68, 3.30)	2.77	(2.56, 2.99)	3.04	(2.67, 3.42)
Short-term (T2-T1) ^c	3.75	(3.48, 4.01)	3.11	(2.78, 3.45)	3.15	(2.89, 3.41)	3.00	(2.59, 3.41)
Long-term (T3-T1) ^d	3.20	(2.89, 3.51)	2.32	(2.02, 2.63)	2.18	(1.91, 2.45)	2.17	(1.74, 2.60)
Decrease (T2-T3) ^e	0.55	(0.33, 0.76)	0.79	(0.54, 1.04)	0.97	(0.75, 1.19)	0.83	(0.50, 1.17)
Mental effort ^f	3.78	(3.51, 4.05)	4.34	(4.02, 4.66)	4.00	(3.76, 4.24)		
IE ^g	0.46	(0.32, 0.61)	0.00	(-0.18, 0.19)	0.16	(0.03, 0.30)		

^a Maximal score 7

^b Highest significance, ANOVA: $F(3, 463) = 8.422, p < .001, r = .23$

^c High significance, ANOVA: $F(3, 463) = 4.553, p < .01, r = .17$

^d Highest significance, ANOVA: $F(3, 463) = 9.972, p < .001, r = .25$

^e n.s.

^f Significance, ANOVA: $F(2, 416) = 3.387, p < .05, r = .13$

^g High significance, ANOVA: $F(2, 416) = 7.641, p < .01, r = .19$

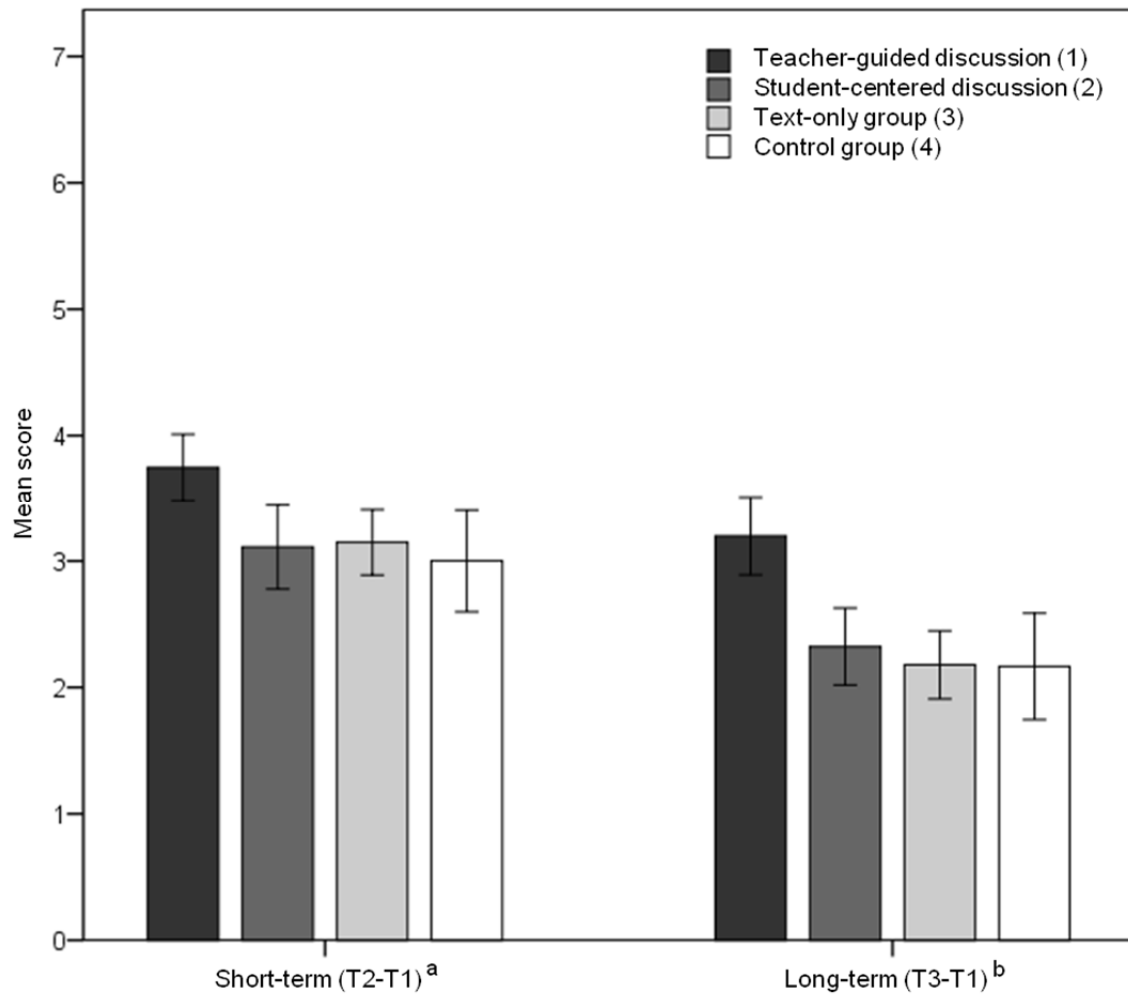


Figure 1. Between-group comparison of the short-term and long-term increase in students' knowledge after the educational intervention between the group with teacher-guided discussion (1), the group with student-centered discussion (2), the text-only group (3), and the control group without discussion (4) (in total, $n = 467$). Error bars represent 95% confidence intervals.

^a Significant differences: ANOVA: $F(3, 463) = 4.553$, $p < .01$, $r = .17$; post-hoc comparisons using Hochberg's GT2 test: The mean score of group 1 was significantly higher than other groups; groups 2, 3, and 4 did not significantly differ.

^b Significant differences: ANOVA: $F(3, 463) = 9.972$, $p < .001$, $r = .25$; post-hoc comparisons using Hochberg's GT2 test: The mean score of group 1 was significantly higher than other groups; groups 2, 3, and 4 did not significantly differ.

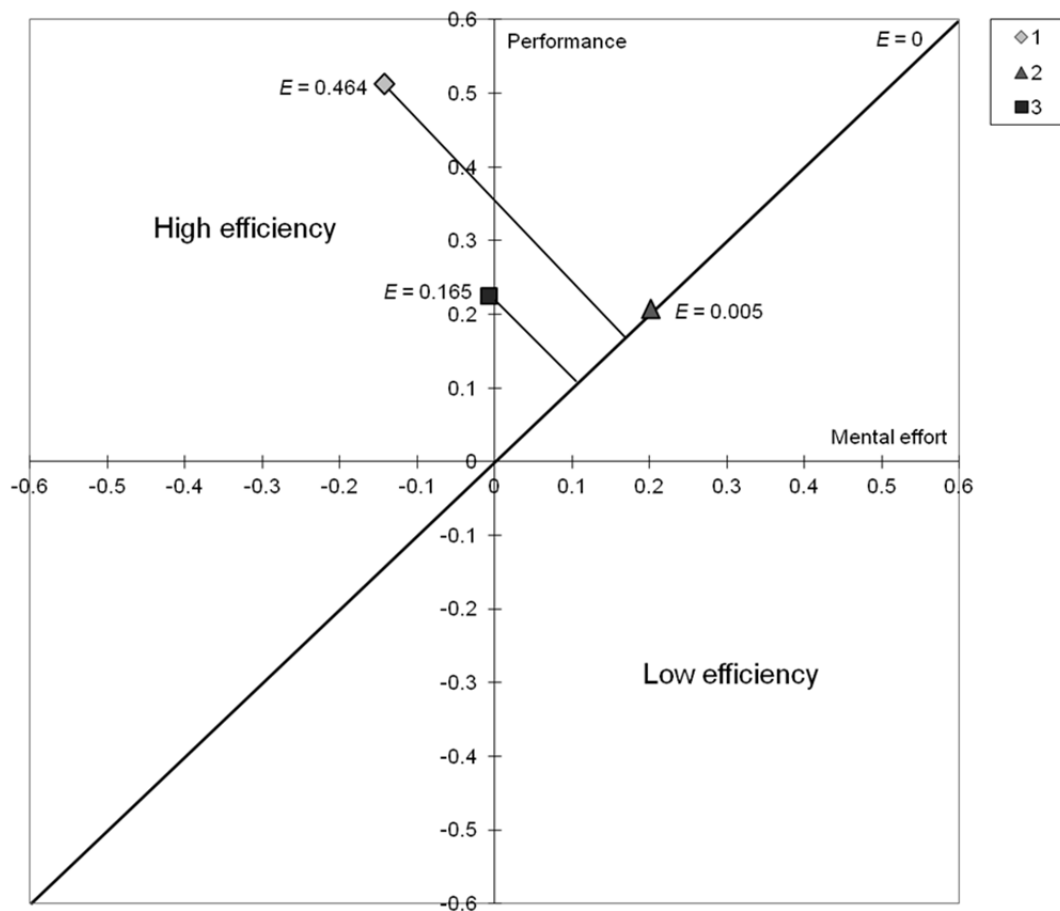


Figure 2. Between-group comparison of the instructional efficiency ($E = (z_{\text{performance}} - z_{\text{mental effort}})/\sqrt{2}$; Paas & Van Merriënboer, 1993) of the GM-maize discussion phase between the group with teacher-guided discussion (1), the group with student-centered discussion (2), and the text-only group (3) (in total, $n = 419$). The lower effort in the discussion phase coupled with better performance results in the significantly higher instructional efficiency of the teacher-guided discussion (1) (ANOVA: $F(2, 416) = 7.641, p < .01, r = .19$).

Discussion

Comparing the three instructional modes with regard to their instructional efficiency, we detected significant differences indicating that the teacher-guided GM-maize discussion was the most effective mode of instruction. Although two variables are related to the instructional efficiency, short-term knowledge increase and mental effort, it was the higher short-term knowledge increase in the teacher-guided group compared to the short-term knowledge increase in the other treatment groups and the control group that was the main factor leading to

the significant differences. Therefore, we assume cognitive achievement is enhanced through the effective guidance of the teacher, who presents the information in a structured and coherent way. This is also true for the long-term knowledge increase, which is also significantly higher. Comparing the teacher-guided group to the student-centered group, we found that the teacher-guided group not only corresponded to a higher knowledge increase, but also resulted in significantly lower mental effort during the GM-maize discussion phase as well. Hence, our results reveal positive effects of the teacher-guided approach with regard to cognitive achievement and cognitive load.

Our results are in line with other instructional approaches. In 1990, Walberg surveyed the previous literature on the effects of different instructional methods and showed that the most effective approaches included structured and guided or teacher-centered methodologies. Kirschner, Sweller, and Clark (2006) had already described teacher-centered approaches with a guiding learning process as substantially more efficient than minimally guided ones, like our student-centered GM maize discussion: They refer to the human cognitive architecture, on the one hand, and empirical studies, on the other. Focusing on the architecture of human memory, the authors connect efficient learning with an increase in relevant information stored in students' long-term memory. In other words, they argue that no change in the long-term memory implies no learning effect. Our results are consistent with the results of Kirschner et al. (2006), as illustrated by the higher long-term knowledge increase (indicating greater cognitive achievement) in the teacher-centered group.

In terms of cognitive achievement, several other studies in other contexts have demonstrated similar effects. Gerstner and Bogner (2009) reported higher short-term learning success in a teacher-guided group (compared to a student-centered one) following an educational intervention concerning water in addition to reporting a more complex concept map structure. Chang (2003) implemented computer assisted instruction in an earth science course, comparing a teacher-directed and a student-controlled approach, and found higher achievement and attitude scores for the teacher-directed group. Wu and Huang (2007) compared different instructional approaches in a technology-enhanced classroom and found higher engagement in the student-centered group, but not higher achievement levels.

With regard to cognitive load and working memory capacity, a number of studies (e.g., Kirschner et al., 2006; Mayer, 2004; Paas, Renkl, & Sweller, 2003) indicate that unguided approaches confronting learners with a free exploration of a highly complex topic generate an enormous working memory load that, of course, hinders the learning processes. Particularly novice learners struggle with the amount of information and the connection to existing knowledge. However, even advanced learners do not necessarily benefit from unguided approaches; in this case, the guided methods often turn out to be equally effective (Kirschner et al., 2006). Mayer (2004) assumed that students with too much freedom in their learning process while dealing with a high amount of information often fail to process the most relevant information and, thus, fail to organize it into a coherent structure. Mayer suggested assessing different approaches in terms of cognitive processing (e.g., selection, organization, and the integration of knowledge). We suggest a similar interpretation: While our teacher-guided discussion is structured and focused on the most relevant aspects, the student-centered one is rather unstructured and the different work groups and their arguments receive differing attention. As expected from the results of the previous studies, the unstructured course in our study led to higher mental effort scores. Surprisingly, the text-only group did not show higher mental effort scores than the teacher-guided group. In this case, students had to restructure the relevant information from the text and write it down. A possible explanation for the similar mental effort between the teacher-centered group and the text-only group could be the need of the student-centered group to self-organize oral presentations of arguments and change perspectives according to their roles. Although Rivard (2004) and Van Blankenstein, Dolmans, Van der Vleuten, and Schmidt (2011) described students as benefiting from language-based activities, like group discussions, in comparison to writing-based tasks, our students possibly had some difficulties with the active role and the oral presentation of the new and complex content on the one hand and the change of perspective on the other.

Difficulties experienced by students in group discussions have been investigated in several studies. Bennett et al. (2010) investigated the effects of group discussions during science lessons and reported difficulties of the students regarding the formulation and expression of coherent arguments; additionally, students showed only low levels of engagement. Lewis and Leach (2006) and Blatchford, Kutnick, Baines, and Galton (2003) assume that students' ability

to engage in discussions might be enhanced by teaching the relevant skills (articulation, justification, challenging ideas, constructive criticism, and consideration of alternative viewpoints) and giving them opportunities to practice these skills. Besides these articulation and argumentation skills, students may need a substantial knowledge base before engaging in reasoned discussions about socio-scientific issues. To reflect upon the complexity of the problems and recognize key issues, students need extensive preparation (Lewis & Leach, 2006; Sadler & Donnelly, 2006). Sadler and Donnelly recommended a preparation that includes both the relevant context knowledge (in our case, knowledge about genetic engineering techniques and GM maize) and the essential content knowledge (in our case, knowledge about cellular structures and genetics). Although we started our educational intervention with a theoretical phase covering all relevant aspects, a broader preparation, possibly implemented some days before our intervention and then repeated in our theoretical phase, might have led to more fruitful student-centered discussions.

Conclusion and implications for teaching

Based on our comparison of the different instructional approaches for the GM-maize discussion phase, we conclude that the teacher-guided discussion is the most efficient instruction. In light of the teacher-guided discussion resulting in the highest knowledge increase combined with the lowest mental effort scores, we presume that the teacher presents the relevant knowledge in the best structured way. Additionally, the teacher's guidance reduced the students' cognitive load levels in comparison to the student-centered approach.

The predominance of the teacher-guided approach raises the question as to how we could improve the student-centered approach in order to achieve higher knowledge results in combination with moderate mental effort scores. Most of the recent studies investigating student-centered discussion approaches recommend more training both for students and teachers (e.g., Bennett et al., 2010; Day & Bryce, 2013; Lewis & Leach, 2006). When socio-scientific issues are discussed with novices, we suggest implementing a structured, teacher-guided approach to present the complexity of an issue. In accordance with Day and Bryce (2011), we recommend a teacher-guided discussion as a starting point for practicing social skills such as listening, communication, and argumentation. Only with these skills, a considerable

knowledge base, as well as some previously structured experiences students are able to participate successfully in student-centered approaches (Kirschner et al., 2006). Day and Bryce (2011) suggested a developmental progression including five steps of discussion which students have to pass through in order to develop the essential skills. In parallel, teachers should incrementally release control of the discussion to reach an open and student-centered approach. We also strongly recommend a stepwise process from a teacher-guided to a student-centered discussion to develop and practice the appropriate skills. The process should be continuously extended over several years; yet the complexity of the socio-scientific issues should be appropriate for the particular age group. At best, the issues discussed should relate to the current real-life contexts of the students (e.g., GM food, genetic testing, etc.). Moreover, the students' change of perspective should be practiced by integrating role-play phases. To best prepare the students, however, teachers must also be prepared.

To prepare science teachers effectively for the discussion of controversial issues, appropriate training in initiating and managing discussions is needed (Bennett et al., 2010; Day & Bryce, 2013; Lehesvuori et al., 2013; Levinson, 2006). Every discussion, regardless of whether teacher-guided or student-centered, is stimulated by the teacher, and therefore specific pedagogical skills are required to prepare the students for the discussion and to motivate them to actively participate in the debate. In addition, teachers have to learn how to lead the discussion with an appropriate level of control. In particular, a teacher's training needs to focus on student-centered approaches and the relinquishing of most of the teacher's control. Since science teachers often feel uncomfortable in implementing discussions during their lessons (Gray & Bryce, 2006), preparing the teachers with well-designed materials and specific training opportunities might help them to develop those crucial skills. Lehesvuori et al. (2013) suggests a graphical method for visualizing the progression of discussion phases in science lessons. Such communication graphs might help teachers to reflect on their own involvement in the discussion and consider potential improvements. Nevertheless, the development of student-centered approaches within the context of socio-scientific issues needs strong support to enable students to reflect independently about these controversial issues and find their individual points of view.

In summary, our study indicates that the teacher-centered approach is the most instructionally efficient of all the treatments, being high in the increase in short-term and long-term knowledge as well as low in mental effort compared to the other groups (student-centered, text-only, and the control group). That being said, we believe that addressing the difficulties inherent in the discussions of controversial socio-scientific topics through appropriate student and teacher preparation may make student-centered discussions more instructively efficient in the future. Student-centered discussions are generally preferable since they encourage students to form their own points of view. This in turn equips the students with the background and skills needed to make decisions regarding socio-scientific issues in real life.

Acknowledgements

We would like to thank all the participating students and their teachers for their cooperation. We appreciate the funding received from the German National Science Foundation (DFG BO 944/4-5), the Bavarian State Ministry of the Environment and Public Health (StUG) as well as the Oberfranken Foundation (02094).

References

- Akçay, H., & Yager, R. E. (2010). The impact of a science/technology/society teaching approach on student learning in five domains. *Journal of Science Education and Technology*, 19(6), 602–611. doi:10.1007/s10956-010-9226-7
- Ayres, P. (2006). Using subjective measures to detect variations of intrinsic cognitive load within problems. *Learning and Instruction*, 16(5), 389–400. doi:10.1016/j.learninstruc.2006.09.001
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556–559. doi:10.1126/science.1736359
- Bavarian Ministry of Education (Ed.). (2008). *Lehrplan für die Realschule [Curriculum for the Realschule]* (2nd ed.). Munich, Germany: Maiss.
- Bavarian Ministry of Education (2013). *Education in Bavaria*. Retrieved October 5, 2013, from <http://www.km.bayern.de/education-in-bavaria.html>
- Bennett, J., Hogarth, S., Lubben, F., Campbell, B., & Robinson, A. (2010). Talking science: The research evidence on the use of small group discussions in science teaching. *International Journal of Science Education*, 32(1), 69–95. doi:10.1080/09500690802713507
- Blatchford, P., Kutnick, P., Baines, E., & Galton, M. (2003). Toward a social pedagogy of classroom group work. *International Journal of Educational Research*, 39(1), 153–172. doi:10.1016/S0883-0355(03)00078-8
- Bühner, M., & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler [Statistics for psychologists and social scientists]*. Munich, Germany: Pearson Studium.
- Chang, C.-Y. (2003). Teaching earth sciences: Should we implement teacher-directed or student-controlled CAI in the secondary classroom? *International Journal of Science Education*, 25(4), 427–438. doi:10.1080/09500690210145701
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155–159. doi:10.1037/0033-2909.112.1.155
- Day, S. P., & Bryce, T. G. K. (2011). Does the discussion of socio-scientific issues require a paradigm shift in science teachers' thinking? *International Journal of Science Education*, 33(12), 1675–1702. doi:10.1080/09500693.2010.519804

- Day, S. P., & Bryce, T. G. K. (2013). The benefits of cooperative learning to socio-scientific discussion in secondary school science. *International Journal of Science Education*, 35(9), 1533–1560. doi:10.1080/09500693.2011.642324
- Di Bernardo, G., Del Gaudio, S., Galderisi, U., Cascino, A., & Cipollaro, M. (2007). Comparative evaluation of different DNA extraction procedures from food samples. *Biotechnology Progress*, 23(2), 297–301. doi:10.1021/bp060182m
- Field, A. P. (2009). *Discovering statistics using SPSS: (and sex and drugs and rock'n'roll)* (3rd ed.). Los Angeles, CA: Sage.
- Franke, G., & Bogner, F. X. (2011). Cognitive influences of students' alternative conceptions within a hands-on gene technology module. *The Journal of Educational Research*, 104(3), 158-170. doi:10.1080/00220671003636745
- Gerstner, S., & Bogner, F. X. (2009). Concept map structure, gender and teaching methods: An investigation of students' science learning. *Educational Research*, 51(4), 425–438. doi:10.1080/00131880903354758
- Goldschmidt, M., & Bogner, F. X. (2013). Associations with plant genetic engineering: A perception analysis of students' hopes and fears. *Studies in Agricultural Economics*, 115(3), 143-149. doi:10.7896/j.1314
- Grace, M. (2009). Developing high quality decision - Making discussions about biological conservation in a normal classroom setting. *International Journal of Science Education*, 31(4), 551-570. doi:10.1080/09500690701744595
- Granger, E. M., Bevis, T. H., Saka, Y., Southerland, S. A., Sampson, V., & Tate, R. L. (2012). The efficacy of student-centered instruction in supporting science learning. *Science*, 338(6103), 105–108. doi:10.1126/science.1223709
- Gray, D. S., & Bryce, T. G. K. (2006). Socio-scientific issues in science education: Implications for the professional development of teachers. *Cambridge Journal of Education*, 36(2), 171–192. doi:10.1080/03057640600718489
- Hodson, D. (2003). Time for action: Science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25(6), 645-670. doi:10.1080/09500690305021

- Hsu, Y. (2008). Learning about seasons in a technologically enhanced environment: The impact of teacher-guided and student-centered instructional approaches on the process of students' conceptual change. *Science Education*, 92(2), 320–344. doi:10.1002/sce.20242
- James, C. (2012). *Global status of commercialized biotech/GM crops: 2012* (ISAAA Brief No. 44). Ithaca, NY: ISAAA.
- Jarvis, B. (2013). Knowledge, cognitive achievement, and environmental luck. *Pacific Philosophical Quarterly*, 94(4), 529–551. doi:10.1111/papq.12012
- Kester, L., Kirschner, P. A., & Van Merriënboer, J. J. G. (2004). Timing of information presentation in learning statistics. *Instructional Science*, 32(3), 233–252. doi:10.1023/B:TRUC.0000024191.27560.e3
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86. doi:10.1207/s15326985ep4102_1
- Knight, A. J. (2009). Perceptions, knowledge and ethical concerns with GM foods and the GM process. *Public Understanding of Science*, 18(2), 177–188. doi:10.1177/0963662507079375
- Lee, Y. C. (2012). Socio-scientific issues in health contexts: Treading a rugged terrain. *International Journal of Science Education*, 34(3), 459–483. doi:10.1080/09500693.2011.613417
- Lehesvuori, S., Viiri, J., Rasku-Puttonen, H., Moate, J., & Helaakoski, J. (2013). Visualizing communication structures in science classrooms: Tracing cumulativity in teacher-led whole class discussions. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(8), 912–939. doi:10.1002/tea.21100
- Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning and values*. Norwood, NJ: Ablex.
- Levinson, R. (2006). Towards a theoretical framework for teaching controversial socio-scientific issues. *International Journal of Science Education*, 28(10), 1201–1224. doi:10.1080/09500690600560753

- Lewis, J., & Leach, J. (2006). Discussion of socio-scientific issues: The role of science knowledge. *International Journal of Science Education*, 28(11), 1267–1287.
doi:10.1080/09500690500439348
- Maghari, B. M., & Ardekani, A. M. (2011). Genetically modified foods and social concerns. *Avicenna Journal of Medical Biotechnology*, 3(3), 109–117. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3558185/>
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? *American Psychologist*, 59(1), 14–19. doi:10.1037/0003-066X.59.1.14
- Mehan, H. (1979). *Learning lessons: Social organization in the classroom*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Mortimer, E. F., & Scott, P. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. Milton Keynes, UK: Open University Press.
- National Science Teachers Association (NSTA) (2010). *Teaching science and technology in the context of societal and personal issues (NSTA position statement)*. Retrieved October 5, 2013, from <http://www.nsta.org/about/positions/societalpersonalissues.aspx>
- Odom, A. L., Stoddard, E. R., & LaNasa, S. M. (2007). Teacher practices and middle-school science achievements. *International Journal of Science Education*, 29(11), 1329–1346.
doi:10.1080/09500690601001971
- Paas, F. G. W. C., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1–4.
doi:10.1207/S15326985EP3801_1
- Paas, F. G. W. C., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63–71. doi:10.1207/S15326985EP3801_8
- Paas, F. G. W. C., & Van Merriënboer, J. J. G. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 35(4), 737–743.
doi:10.1177/001872089303500412

- Paas, F. G. W. C., & 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*(1), 122-133. doi:10.1037/0022-0663.86.1.122
- Paas, F. G. W. C., Van Merriënboer, J. J. G., & Adam, J. (1994). Measurement of cognitive load in instructional research. *Perceptual and Motor Skills, 79*, 419–430. doi:10.2466/pms.1994.79.1.419
- Rivard, L. P. (2004). Are language-based activities in science effective for all students, including low achievers? *Science Education, 88*(3), 420–442. doi:10.1002/sce.10114
- Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/science literacy. In S. Abell, & N. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 729-780). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rouet, J.-F. (2009). Managing cognitive load during document-based learning. *Learning and Instruction, 19*(5), 445–450. doi:10.1016/j.learninstruc.2009.02.007
- Sadler, T. D., & Donnelly, L. A. (2006). Socioscientific argumentation: The effects of content knowledge and morality. *International Journal of Science Education, 28*(12), 1463–1488. doi:10.1080/09500690600708717
- Scharfenberg, F. J., & Bogner, F. X. (2010). Instructional efficiency of changing cognitive load in an out-of-school laboratory. *International Journal of Science Education, 32*(6), 829–844. doi:10.1080/09500690902948862
- Schellens, T., & Valcke, M. (2005). Collaborative learning in asynchronous discussion groups: What about the impact on cognitive processing?. *Computers in Human Behavior, 21*(6), 957-975. doi:10.1016/j.chb.2004.02.025
- Sekretariat der Kultusministerkonferenz [Office of the Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs of the Länder in the Federal Republic of Germany] (2005). *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz – Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Bildungsabschluss [Resolution of the Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs of the Länder in the Federal Republic of Germany – Standards of biology education for secondary school]*. Munich, Germany: Luchterhand.

- Sinclair, J. McH., & Coulthard, R. M. (1975). *Towards an analysis of discourse: The English used by teachers and pupils*. London, UK: Oxford University Press.
- Sweller, J. (2006). How the human cognitive system deals with complexity. In J. Elen & R. Clark (Eds.), *Handling complexity in learning environments: Theory and research* (pp. 13-25). Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
doi:10.1023/A:1022193728205
- Taraban, R., Box, C., Myers, R., Pollard, R., & Bowen, C. W. (2007). Effects of active-learning experiences on achievement, attitudes, and behaviors in high school biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(7), 960–979. doi:10.1002/tea.20183
- Van Blankenstein, F. M., Dolmans, D., Van der Vleuten, C. P., & Schmidt, H. G. (2011). Which cognitive processes support learning during small-group discussion? The role of providing explanations and listening to others. *Instructional Science*, 39(2), 189–204.
doi:10.1007/s11251-009-9124-7
- Van Gog, T., & Paas, F. G. W. C. (2008). Instructional efficiency: Revisiting the original construct in educational research. *Educational Psychologist*, 43(1), 16–26.
doi:10.1080/00461520701756248
- Van Merriënboer, J. J. G., & Ayres, P. (2005). Research on cognitive load theory and its design implications for e-learning. *Educational Technology Research and Development*, 53(3), 5-13.
doi:10.1007/BF02504793
- Walberg, H. J. (1990). Productive teaching and instruction: Assessing the knowledge base. *The Phi Delta Kappan*, 71(6), 470–478. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/20404184>
- Walker, K. A., & Zeidler, D. L. (2007). Promoting discourse about socioscientific issues through scaffolded inquiry. *International Journal of Science Education*, 29(11), 1387-1410.
doi:10.1080/09500690601068095
- Wals, A. E., & Jickling, B. (2002). “Sustainability” in higher education: From doublethink and newspeak to critical thinking and meaningful learning. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 3(3), 221-232. doi:10.1108/14676370210434688

- Wells, G., & Arauz, R. M. (2006). Dialogue in the classroom. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(3), 379–428. doi:10.1207/s15327809jls1503_3
- Whelan, R. R. (2007). Neuroimaging of cognitive load in instructional multimedia. *Educational Research Review*, 2(1), 1–12. doi:10.1016/j.edurev.2006.11.001
- Wu, H., & Huang, Y. (2007). Ninth-grade student engagement in teacher-centered and student-centered technology-enhanced learning environments. *Science Education*, 91(5), 727–749. doi:10.1002/sce.20216

E. 4 Teilarbeit B

Goldschmidt, M. & Bogner, F. X. (2013).

Associations with plant genetic engineering: A perception analysis of students' hopes and fears.

Studies in Agricultural Economics, 115(3), 143-149.

doi:10.7896/j.1314

Marlen GOLDSCHMIDT* and Franz X. BOGNER*

Associations with plant genetic engineering: A perception analysis of students' hopes and fears

Public perceptions of plant genetic engineering are of increasing research interest. Although within the current debate on the cultivation of genetically modified plants many related ethical, political and economic issues need specific consideration, young students' views on this socio-scientific issue are largely unexplored. Therefore, our current analysis focussed on perceptions of Bavarian tenth graders (N=572) with regard to their hopes and fears in the context of plant genetic engineering. By applying a mixed-methods approach, students rated their individual hopes and fears on a 4-point Likert scale (quantitative part) and gave a written statement about their individual associations (qualitative part): Hereby, hopes scored much higher than fears (medium effect). The subsequent categorisation of qualitative data resulted in five categories for hopes and four categories for fears. Hopes were mainly associated with economic or ecological aspects as well as with the overall fight against world hunger. Fears dealt mainly with negative consequences on human health and the fate of the environment. Additionally, subjective and objective knowledge were analysed for their influence on students' perceptions. Subjective knowledge had a significant influence on hopes, objective knowledge did not. This background information is relevant for the age-appropriate preparation of biology lessons: Hopes and fears need to be specifically addressed in order to optimise educational efforts and to support students to become responsible citizens.

Keywords: associations, genetically modified food, mixed methods approach, knowledge, science education

* Universität Bayreuth, Universitätsstraße 30, 95447, Bayreuth, Germany. Corresponding author: marlen.goldschmidt@uni-bayreuth.de

Introduction

Genetic engineering as a "process of inserting new genetic information into existing cells for the purpose of modifying one of the characteristics of an organism" (UN, 1997, p.36) is a highly discussed public issue. The cultivation of genetically modified (GM) plants and their availability on the global market have rapidly increased during the last decade (Maghari and Ardekani, 2011), reaching even a 100-fold increase since the mid-1990s (James, 2012). The most widely cultivated GM plants are soybean and maize followed by cotton and canola (FAO, 2012). Although European countries such as Spain, Portugal, Czech Republic, Slovakia and Romania cultivate GM maize (James, 2012), in Germany, the support for GM products is negligible to non-existent. In Bayern, for instance, cultivation of GM plants was completely terminated in 2009. By contrast, in developing countries genetic engineering is often thought to offer new opportunities for improving agricultural systems and positively supplement traditional techniques. For instance, GM plants when specially adapted to local environmental conditions may considerably increase harvest success and help to feed a fast-growing population.

Not surprisingly, genetic engineering became an important but controversial socio-scientific issue with regard to ethical, social, political and economic questions. On the one hand, supporters emphasise huge benefits for farmers and consumers as well as even substantial environmental advantages, for example with regard to the potential reduction in pesticide pollution. On the other hand, opponents tend to put specific emphasis on hazardous risks and unpredictable long-term effects (Knight, 2009). Nevertheless, plant genetic engineering practices mainly affect industrial countries and emerging nations (James, 2012), while developing countries currently benefit only slightly. This dissemination raises the question whether world hunger really is a main focus of this technique or if it is simply a matter of financial gain. In Europe, the pub-

lic debate over genetic engineering typically is accompanied by extensive reporting in the media. This journalism within a large volume of information often dramatises risk information, and therefore acts as a kind of risk amplifier (Frewer *et al.*, 2002). Owing to such possibly one-sided reports, a fair potential for misinforming the general public exists.

Public opinion towards genetic engineering differs widely: While the US public is relatively unconcerned (Sjöberg, 2008), Germans almost entirely oppose the issue. This is reflected by the fact that GM products (or products containing GM ingredients) in Germany by law require mandatory labelling whereas on the American market they do not (Gruère *et al.*, 2008). The results of the Eurobarometer survey in 2010 showed European opponents on average outnumbering supporters by far. Currently, in Europe, the level of support has dropped to the level measured in 1993 (Gaskell *et al.*, 2011). The US public is generally more supportive: In 2010, only one third of US consumers were concerned about GM products (Deloitte, 2010). In Germany, public rejection of genetic engineering is at a very high level and even impacts scientific research. Owing to restricted conditions, a substantial number of research groups as well as companies have scaled down their research activities or have moved abroad.

In educational contexts, teachers need to give attention to socio-scientific issues in order to prepare young students to become responsible members of society. Consequently, in Germany, national education standards demand socio-scientific issues to be included as essential parts of biology lessons in order to enable students to individually reflect on issues such as genetic engineering (Sekretariat der Kultusministerkonferenz, 2005). Regarding plant genetic engineering, students should not only understand the methodology, but also need to develop awareness about the public debate and the most relevant potential risks and benefits. Thus, specific knowledge about students' perceptions would help teachers in implementing appropriate teaching in classrooms.

Debates over genetic engineering have led to a number of studies on public perceptions. The most frequently reported perceptions were negative ones pointing to anxiety, anger and fear (WHO, 2005). For instance, fear about genetic engineering is positively influenced by consumer concern for the environment and negatively by faith in the technology of food production (Šorgo *et al.*, 2012). Industry representatives and scientists particularly suspect that education, simply by imparting knowledge, may substantially help to reduce individual fears about genetic engineering (House *et al.*, 2004; Connor and Siegrist, 2010). Nevertheless, factual knowledge alone may not have a large impact on perceptions of genetic engineering: Šorgo and Ambrozic-Dolinsek (2010) reported a substantially higher influence of perceptions than of knowledge on the acceptance of GM products. Other studies, however, did not support any relationship between knowledge and acceptance (e.g. Christoph *et al.*, 2008; Ekborg, 2008; Connor and Siegrist, 2010).

Verdurme and Viaene (2003) saw a knowledge increase not necessarily as leading to more positive perceptions or higher acceptance due to the fact that well-informed consumers ask more critical questions or that existing negative perceptions are strengthened by providing more information. Nevertheless, Gupta *et al.* (2012), in reviewing socio-psychological determinants of acceptance and perceptions related to emerging technologies such as genetic engineering, reported cognitive factual knowledge as one of the most often stated or cited determinants. In line with this, various further studies support the positive influence of knowledge on perceptions (e.g. Prokop *et al.*, 2007; Wnuk and Kozak, 2011; Fonseca *et al.*, 2012). Summing up these controversial findings, no clear answer about a potential knowledge impact on students' perceptions is currently possible.

Consequently, our present study focused on the investigation of students' perceptions of plant genetic engineering and the relationship to students' knowledge. We based our study on the research of Gebhard *et al.* (1994) which monitored young cohorts' hopes and fears with regard to genetic engineering and reproductive biology. Their mixed methods approach consisting of a quantitative and qualitative survey revealed hopes and fears as just moderately rated, on average. Hopes referred to the cure of diseases as well as to the optimisation of agriculture, but participants were very frightened of misuse of genetic engineering and of undesirable side effects. Gebhard *et al.* (1994) concluded that education in the context of genetic engineering, besides imparting knowledge, needs to acknowledge students' hopes and fears. Todt and Götz (1997) used a questionnaire to collect the most common hopes and fears as well as to evaluate the related risks. In general, their results were similar to those of Gebhard *et al.* (1994), with students expressing their hopes for the cure of diseases and being frightened of misuse.

Our study, in line with Gebhard *et al.* (1994), focussed on students' individual scoring of their hopes and fears on the one hand, and their associations regarding plant genetic engineering on the other. In contrast to Gebhard *et al.* (1994), we monitored a younger age-group (between 15 and 18 years of age) and focused particularly on plant genetic engineering. Besides the continuous debate about genetic engineering

during the last two decades, scientific research has advanced and applications have been refined, thus leading to possible changes in students' perceptions. Considering students' knowledge regarding plant genetic engineering, we assessed their subjective and objective knowledge and analysed the relationship between knowledge and students' hopes and fears. Subjective knowledge refers to what students think they know about plant genetic engineering, while objective knowledge is defined as their real knowledge (Costa-Font *et al.*, 2008). It is important to distinguish between subjective and objective knowledge due to the fact that they might affect students' perceptions differently (House *et al.*, 2004; Connor and Siegrist, 2010). We posed three research questions: (a) how do students score their hopes and fears regarding plant genetic engineering; (b) what kind of associations do students have regarding plant genetic engineering, and (c) what kind of relationship exists between students' knowledge and their hopes and fears?

Methodology

We applied a mixed methods approach by combining qualitative and quantitative approaches (Johnson and Onwuegbuzie, 2004). Consequently, we used a two-part paper-pencil and-test based on the study of Gebhard *et al.* (1994). The quantitative part consisted of two 4-point Likert scales (no – little – some – much hope/fear) with which students rated their hopes and fears regarding plant genetic engineering. For the qualitative part, students were asked to write a short statement about their hopes and another about their fears. The qualitative analysis of these statements would provide a deeper insight into students' perceptions. In order to assess students' objective knowledge, a paper-and-pencil multiple choice questionnaire with 14 questions was used (Table 1). Additionally, students' subjective knowledge was surveyed with a 3-point Likert scale (ill-informed – moderate – well-informed) on which students rated their individual knowledge of plant genetic engineering.

Table 1: Sample questions from the multiple choice questionnaire completed by the students in the survey.

Question	Alternative answers
In Germany, GM foodstuffs:	(a) are prohibited goods (b) have to be labelled [correct] (c) are not sold (d) are banned export goods
What is the mandatory distance between fields with GM plants and fields with conventional plants?	(a) 15 metres (b) 150 metres [correct] (c) 1500 metres (d) 15000 metres

Source: own composition

Our sample consisted of 572 Bavarian tenth graders (final class of *Realschule* (professionally oriented secondary school), $M=16.7$; $SD=0.7$) from 29 different classes (quasi-experimental design). Gender was about equally distributed (51.2 per cent females). Since genetic engineering is a compulsory part of the Bavarian tenth grade curriculum (Bavarian Ministry of Education, 2008), a basic knowledge about the applications, risks and benefits of this technique was expected.

For statistical analyses, we applied parametric procedures by using PASW Statistics 18 (Version 18.0.0). Quantitative data were compared by using a paired t-test and a one-way ANOVA. For *post-hoc* comparisons of the one-way ANOVA, we used Hochberg's GT2 test procedure in consequence of different subsample sizes (Field, 2009). Effect sizes were calculated according to Field (2009), considering values of 0.10 as small, of 0.30 as medium and of 0.50 as large effect (Cohen, 1992). Correlation analysis was performed applying Pearson's or Spearman's correlation coefficient according to the respective assumptions. Reliability analyses of the Likert scales resulted in Cronbach's alpha scores of 0.85 for both scales, and of 0.74 for the knowledge questionnaire.

The qualitative data analysis followed the approach of Mayring (2008), iteratively categorising individual statements and following the method of inductive category development.

Results

In general, the individual scores of hopes and fears were low (hopes: $M=2.01$; 95% CIs [1.95-2.08]; fears: $M=1.71$; 95% CIs [1.65-1.77]). Most students (45.8 per cent each) rated both hopes and fears as low. Almost 28 per cent of the students reported no hopes and 43 per cent reported no fears, respectively¹. About 24 per cent reported some hopes, while a mere 2.4 per cent scored high. About 11 per cent reported some or much fear (Table 2). When comparing all scores, hopes were significantly higher than fears ($t(571)=7.029$, $p<0.001$, effect size $r=-0.28$). Moreover, no correlation between both Likert scales was observed (Pearson's correlation coefficient $r=0.04$, $p=0.294$).

After the categorisation process, we extracted five main categories for hopes and four for fears. Consistency among raters was investigated by an intra- and inter-rater reliability analysis using Cohen's kappa statistic (based on 10 per cent of participants (randomly selected)) (Cohen, 1960). For the Cohen's kappa scores, see Table 3. According to Landis and Koch (1977), our Cohen's kappa scores can be regarded as 'substantial' (0.61-0.80) to 'almost perfect' (>0.80). Categorisation of students' statements was done according to our category system, while one statement could have been classified into several categories.

The most frequent categories mentioned for hopes were *farmers*, *world hunger* and *progress* (Table 4). The categories *consumers* and *environment* each accounted for more than 10 per cent of all statements. Fears often described *hazardous risks*, *human health* and *environmental impact*, while *ethics* only was listed by 7.6 per cent of all statements. Some rare statements did not match our main categories and these were collected into the category of 'others' (less than 2.5 per cent each). Note that about 50 per cent of the students did not give any statement on hopes ($n=209$) and about 43 per cent on fears ($n=141$) and these subsamples were excluded.

The most frequent combinations of categories were *world hunger+human health* (20.0 per cent) and *farmers+*

Table 2: Distribution of Bavarian tenth graders' hopes and fears regarding plant genetic engineering (percentage of all answers; $n=572$).

Rating	Hopes (%)	Fears (%)
No	27.6	43.0
Little	45.8	45.8
Some	24.1	8.7
Much	2.4	2.4

Table 3: Cohen's kappa values for the intra- and inter-rater reliability analysis of the category system for the qualitative analysis (based on randomly selected 10 per cent of participants).

Perceptions	Cohen's kappa	
	Intra-rater reliability	Inter-rater reliability
Hopes	0.96	0.87
Fears	0.95	0.69

Table 4: Percentage of the main categories of Bavarian students' (a) hopes ($n=205$) and (b) fears ($n=185$) with regard to plant genetic engineering (percentage of all answers, one answer could have been classified into several categories), and exemplary excerpts for each category.

	Category	Percentage	Excerpt
Hopes	Farmers	40.0	"By using green genetic engineering farmers can be sure that their crops are bountiful and that they will not have any crop failures".
	World hunger	28.3	"Since production will increase, there will be more food. Thereby world hunger could be reduced".
	Progress	23.9	"Changes through green genetic engineering will facilitate a better life on earth".
	Consumers	11.2	"Consumers will get more and better products at cheaper prices".
	Environment	13.7	"Green genetic engineering could be applied for pest control without using chemical pesticides".
Fears	Hazardous risks	42.2	"Unpredictable side effects could appear, maybe years later when it is already too late".
	Human health	41.6	"We cannot know if the modified genes in plants will have any negative impact on human health".
	Environmental impact	53.1	"Nature could be damaged permanently through green genetic engineering".
	Ethics	7.6	"Through genetic engineering genes are modified, but humans should not interfere with nature".

Source: own composition

hazardous risks (11.4 per cent). The combinations *farmers+human health* and *farmers+environmental impact* were often mentioned as well (each 9.5 per cent).

Analysis of students' subjective knowledge revealed that only 6 per cent of the students felt well informed, while 46 per cent felt moderately informed and 48 per cent ill informed. Considering the between-group comparison with regard to students' scoring of their hopes and fears, students' hopes differed significantly (ANOVA: $F(2, 561)=6.932$, $p=0.001$, $r=0.16$; Figure 1). *Post-hoc* comparisons using Hochberg's GT2 test procedure indicated that the well informed group rated their hopes significantly higher than the other groups. However, the ill informed and the moderately informed

¹ For the subsequent qualitative analysis, all students without hopes ($n=158$) or without fears ($n=246$) on the rating scale (quantitative part) were excluded as they did not write any statements.

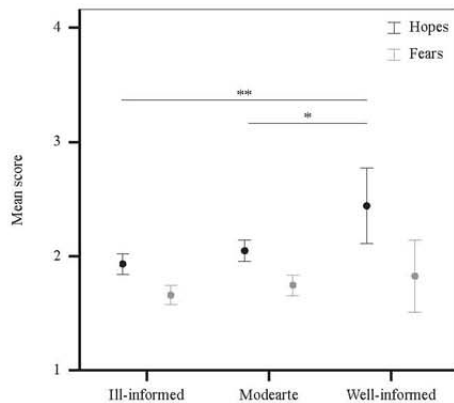


Figure 1: Comparison between ill informed, moderately informed and well informed groups of Bavarian students of the rating of their hopes and fears regarding plant genetic engineering (n=564).

Error bars represent 95% confidence intervals.

groups did not significantly differ with regard to their hopes. The relationship between subjective knowledge and students' hopes was significant (Spearman's correlation coefficient $r=0.12$, $p=0.005$). The scoring of students' fears did not differ significantly between the three groups of subjective knowledge (ANOVA: $F(2, 561)=1.396$, $p=0.249$, Figure 1) and the correlation analysis revealed no significant relationship (Spearman's correlation coefficient $r=0.06$, $p=0.145$).

Students' objective knowledge, according to the results of the multiple choice questionnaire, was rather low ($M=5.30$; 95% CIs [5.13-5.47]). Our analysis revealed no significant correlation between students' objective knowledge scores and their scoring of hopes and fears (Pearson's correlation coefficient: hopes: $r=0.06$, $p=0.190$; fears: $r=0.08$, $p=0.070$), but the relationship between students' subjective and objective knowledge was significant (Spearman's correlation coefficient $r=0.16$, $p<0.001$).

Discussion

The main focus of our study was students' scoring of their hopes and fears (quantitative) as well as their associations with plant genetic engineering (qualitative). It was surprising how low hopes and fears scored regarding plant genetic engineering issues. About three-quarters of our students did not report any hope or, at least, scored it very low. Similarly, nearly 90 per cent did not report any fear or just low fears, respectively. This level in both perceptions was quite unexpected, especially in view of the high topicality of plant genetic engineering and the continuing presence in public media. Nevertheless, it is quite in line with Gebhard *et al.* (1994) who about two decades ago described a similar pattern: In that study a high percentage was low scoring in both the hope and the fear domain as well. Nevertheless, two decades of intensive controversial discussion raised expectations in producing impacts in our target perceptions. One

reason for not doing this may lie in the high rejection rate of German consumers which maybe prevents any contact with this issue. In fact, the issue of plant genetic engineering may not play an important role in our students' daily life. The lack of relevance or a low interest and limited knowledge about this issue may provide a possible explanation. Additionally, students may simply be tired of reflecting about this issue, as Gebhard *et al.* (1994) already had hypothesised.

Furthermore, a general uncertainty about this issue may provoke our low scoring of hopes and fears. Poortinga and Pidgeon (2006) monitored opinions about GM food and rated about half of their participants as ambivalent towards support of or opposition to GM food, so that as a consequence the majority had an undecided position. Individual hopes scored significantly higher than fears (medium effect). While a quarter of all our participants reported some or much hope, only about 10 per cent reported high fear. This proportion, however, is quite in contrast to earlier studies where anxiety, anger or fears were always dominant variables (e.g. Laros and Steenkamp, 2004; Šorgo *et al.*, 2012). However, the percentage of the highly scoring hopes is similar to Gebhard *et al.* (1994) (about 25 per cent each), although their percentage of high fears was four times higher than ours (40 per cent to 10 per cent); this discrepancy may point to a strong decrease of students' fears during the last two decades. Today, we need to take into consideration that plant genetic engineering is not as new and unknown as it was 20 years ago. Therefore, nowadays students are more familiar with the discussion about this issue and the associated risks. Additionally, governmental control and legal regulations in Germany may have been conducive to decreasing fear. Laros and Steenkamp (2004) found a positive influence on the fear of genetic engineering of consumers' concern for the environment, and a negative influence of faith in the technology of food production. Referring to our results, this explanation would point to a low concern for the environment and a high faith in technology of our students. Unfortunately, in our present study we did not include a measure of adolescent environmental attitudes or behaviour as it would be available in the established 2-MEV scale or the GEB-scale (Bogner and Wiseman, 1999, 2006; Kaiser *et al.*, 2007; Roczen *et al.*, 2013).

The lack of correlation between hopes and fears suggests independence of both variables and supports their two-dimensionality. Most studies dealing with perceptions on genetic engineering prefer the independent measuring of positive and negative perceptions (e.g. risks and benefits; Siegrist, 2003; Poortinga and Pidgeon, 2006; worries and benefits; Stewart and McLean, 2008). Eiser *et al.* (2002) reported trust and risk perceptions as independently influencing attitudes towards particular food technologies. Based on the controversial discussion about plant genetic engineering, we presume such an independence of hopes and fears.

A statements analysis revealed for about half of our students no relevant associations towards plant genetic engineering: Either they were overwhelmed by this task, or writing a statement was of no importance for them, just reflecting their low rating of hopes or fears. Most associations of students' hopes dealt with economic advantages for farmers and consumers as well as with the general fight

against world hunger. Another frequently mentioned category was *progress* by referring to general improvements and the facilitation of a better life on earth. These findings reflect the full range of aspects and arguments represented in the public debate. Similar to Gebhard *et al.* (1994), we found a high percentage of students referring to economic aspects, suggesting that students may take up the common position of genetic engineering supporters who promise high yields. The same holds true for the category *world hunger* as it, too, is an often mentioned argument of supporters. The societal benefit of fighting world hunger makes genetic engineering more acceptable and leads to the acceptance or even ignorance of fears since the trade-off is seen as advantageous enough (Stewart and McLean, 2008).

Our categories were similar to those of other studies (e.g. Knight, 2009). For instance, Massarani and Moreira (2005) conducted focus group discussions about the most important advantages of genetic engineering among Brazilian students concluding two main categories: increased productivity and the elimination of world hunger. Hill *et al.* (1999) reported for different age cohorts (age 11-12, 13-14 and 15-16 years) almost no change in individual perceptions. Such surprising constancies are quite in line with other studies in the environmental perception sector (e.g., Bogner, 1998; Kaiser *et al.*, 2013). Within the close field of our study, our results additionally appear similar to those obtained in other countries and other age groups. Interestingly, about 15 per cent of our students also expressed hope for positive effects on the environment (e.g. pest control without using chemical pesticides), in spite of the fact that the general public usually associates genetic engineering with a negative environmental impact (e.g. the hybridisation of GM plants with wild species). Those uncommon associations of students may indicate a more in-depth knowledge about GM plants within this specific subsample.

The most frequently stated fears reflected the common arguments as they feature in the public debate: Negative effects on human health, general hazardous risks such as unpredictable long-term effects as well as negative environmental impacts. Consequently, our categories of fears match other studies' findings (e.g. Todt and Götz, 1997; Ekborg, 2008). Stewart and McLean (2008) describe fears as the dominant emotion driving public opinion on genetic engineering. The potential environmental impact and possible personal risks are so drastic that fear plays an important role in the rejection of this technology (Stewart and McLean, 2008). In contrast to our results, Gebhard *et al.* (1994) reported a high percentage of participants being frightened of any misuse, concluding that genetic engineering is assessed positively in general but could develop negatively if falling into 'wrong' hands or getting out of control. This may indicate a general suspicion towards science and industry (Christoph *et al.*, 2008). Additionally, a lack of trust in food production processes and controlling institutions might be relevant (Pardo *et al.*, 2002; Stewart and McLean, 2008). Generally, students' fears focused on risks and possible negative effects, while ethical aspects such as interference with nature or religious reasons were mentioned only rarely.

Interestingly, the ambivalence of students' scoring of hopes and fears is apparent in their statements as well. The

most frequent combination of categories is *world hunger* and *human health*, thus emphasising the conflict between possible societal and economic benefits, on the one hand, and potential personal health risks, on the other hand. Students' individual trade-off between both positions is crucial for their opinion making and their acceptance of plant genetic engineering (Stewart and McLean, 2008). Unfortunately, a measurement of acceptance was not included in our study and this would need consideration in further studies.

Subjective knowledge regarding plant genetic engineering was rated rather poor, only 6 per cent felt well informed; in contrast, nearly half of the students assessed themselves as ill informed. The first score is in contrast to Gebhard *et al.* (1994) where about a quarter of their sample announced a 'well informed' (24 per cent). Pardo *et al.* (2002) investigated the awareness and knowledge of genetic engineering in Europe and reported for 80 per cent of their sample a partial or minimal information level. Therefore, it was not surprising how low subjective knowledge was rated by the students, thus indicating a need for broader educational efforts in order to equip students with specific knowledge about plant genetic engineering. In line with this, students' objective knowledge scored rather low and correlated positively with the subjective knowledge, thereby showing that students assessed their own subjective knowledge exactly. Brucks (1985) and House *et al.* (2004) proved this correlation between objective and subjective knowledge in their studies as well. In contrast to the objective knowledge which bears no relationship to students' perceptions, the subjective knowledge significantly correlated with hopes: well informed students scored their hopes higher than moderately and ill informed counterparts. This relationship points to the specific importance of education in this context (see below). Gebhard *et al.* (1994) reported a similar relationship between subjective knowledge and hopes, on the one hand, and fears on the other. Furthermore, Pardo *et al.* (2002) detected corresponding effects when analysing the influence of subjective knowledge on peoples' perception of benefits and risks.

Focusing on the relationship between objective knowledge and perceptions, we are in line with several other studies reporting no significant correlation (e.g. Christoph *et al.*, 2008; Connor and Siegrist, 2010). The different effects of subjective and objective knowledge on perceptions of genetic engineering were reported in some other studies comparing both knowledge types (e.g. Costa-Font *et al.*, 2008; House *et al.*, 2004).

Conclusion

Commonly it is questionable whether factual knowledge alone can cause significant changes in the perceptions of genetic engineering and in the acceptance of GM products. Ruddell (1979) assumed that education in nutrition might reduce consumers' reliance on general information and increase the number of arguments involved in decision making, but will not initiate any changes in consumers' individual perceptions. Our data, however, strongly support for subjective knowledge a significant relationship to hopes by failing to interfere with fears; this is not true at all for

objective knowledge. Therefore, educational efforts need to achieve both: the increase of knowledge about genetic engineering techniques and the addressing of students' perceptions in order to help them to find their individual positions on this issue. In this context, it is necessary to give attention to students' hopes and fears. Our study shows hopes and fears as generally based on the common arguments as pointed out in the public debate. Although the level of hopes was significantly higher than fears, most students were ambivalent in both their ratings and their associations, thus emphasising that there is need for further information on this socio-scientific issue.

Implications for teaching

In order to address both teaching factual knowledge about genetic engineering and acknowledging individual perceptions as well, we strongly suggest incorporating hopes and fears when building upon a solid fundamental knowledge base. Specific actual issues in the field of plant genetic engineering, for instance, the recent case of the GM potato 'Amflora', are excellent stepping stones to building upon everyday issues and might help to address individual hopes and fears. Consequently, hopes and fears which we have shown to be unrelated could be connected. The most important guideline for teachers is to handle this issue in a neutral manner, in order to encourage students to define and develop their individual points of view within this complex matter. Education should not interfere with pro- or contra-positions, it should support a student's critical thinking. Knowledge about individual hopes and fears for sure help teachers to provide appropriate lessons.

Further research needs to extend our present study: For instance, the acceptance of genetic engineering needs integration as well as environmental attitude and behaviour frameworks do (see above: Šorgo *et al.*, 2012). Considering our rather young age group, we assume an ongoing process of forming own opinions, thus the age group of undergraduates and graduates is expected to add further insights into the issue of this present study.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the support of Sabrina Sattler in performing the inter-rater reliability analysis. We also thank all participating students and their teachers for their cooperation. We appreciate the funding received from the Bavarian State Ministry of the Environment and Public Health (StUG), the Oberfranken Foundation and the German National Science Foundation (DFG BO 944/4-5).

References

Bavarian Ministry of Education (2008): Lehrplan für die Realschule [Curriculum for the *Realschule*] (2nd edition). München: Maiss.
 Bogner, F.X. (1998): Environmental perception of Irish and Bavarian adolescents: A comparative empirical study. *The Environmentalist* **18**, 27-38. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1006578101077>

Bogner, F.X. and Wiseman, M. (1999): Toward measuring adolescent environmental perception. *European Psychologist* **4** (3), 139-151. <http://dx.doi.org/10.1027//1016-9040.4.3.139>
 Bogner, F.X. and Wiseman, M. (2006): Adolescents' attitudes towards nature and environment: Quantifying the 2-MEV model. *The Environmentalist* **26**, 247-254. <http://dx.doi.org/10.1007/s10669-006-8660-9>
 Brucks, M. (1985): The effects of product class knowledge on information search behavior. *Journal of Consumer Research* **12** (1), 1-16. <http://dx.doi.org/10.1086/209031>
 Christoph, I.B., Bruhn, M. and Roosen, J. (2008): Knowledge, attitudes towards and acceptability of genetic modification in Germany. *Appetite* **51** (1), 58-68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2007.12.001>
 Cohen, J. (1960): A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and psychological measurement* **20** (1), 37-46. <http://dx.doi.org/10.1177/001316446002000104>
 Cohen, J. (1992): A power primer. *Psychological Bulletin* **112** (1), 155-159. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.155>
 Connor, M. and Siegrist, M. (2010): Factors influencing people's acceptance of gene technology: The role of knowledge, health expectations, naturalness, and social trust. *Science Communication* **32** (4), 514-538. <http://dx.doi.org/10.1177/1075547009358919>
 Costa-Font, M., Gil, J.M. and Traill, W.B. (2008): Consumer acceptance, valuation of and attitudes towards genetically modified food: Review and implications for food policy. *Food Policy* **33** (2), 99-111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2007.07.002>
 Deloitte (2010): Food Survey Genetically Modified Foods [www document]. http://www.deloitte.com/assets/Dcom-United-States/Local%20Assets/Documents/Consumer%20Business/us_cp_2010FoodSurveyFactSheetGeneticallyModifiedFoods_05022010.pdf (accessed 10 June 2013).
 Eiser, J.R., Miles, S. and Frewer, L.J. (2002): Trust, perceived risk, and attitudes toward food technologies. *Journal of Applied Social Psychology* **32** (11), 2423-2433. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1559-1816.2002.tb01871.x>
 Ekborg, M. (2008): Opinion building on a socio-scientific issue: The case of genetically modified plants. *Journal of Biological Education* **42** (2), 60-65. <http://dx.doi.org/10.1080/00219266.2008.9656112>
 Field, A.P. (2009): *Discovering statistics using SPSS* (3rd edition). Los Angeles: Sage.
 Fonseca, M. J., Costa, P., Lencastre, L. and Tavares, F. (2012): Multidimensional analysis of high-school students' perceptions about biotechnology. *Journal of Biological Education* **46** (3), 129-139. <http://dx.doi.org/10.1080/00219266.2011.634019>
 FAO (2012): *FAO statistical yearbook 2012: World food and agriculture*. Roma: FAO.
 Frewer, L.J., Miles, S. and Marsh, R. (2002): The media and genetically modified foods: Evidence in support of social amplification of risk. *Risk Analysis* **22** (4), 701-711. <http://dx.doi.org/10.1111/0272-4332.00062>
 Gaskell, G., Allansdottir, A., Allum, N., Castro, P. and others. (2011): The 2010 Eurobarometer on the life sciences. *Nature Biotechnology* **29** (2), 113-114. <http://dx.doi.org/10.1038/nbt.1771>
 Gebhard, U., Feldmann, K. and Bremekamp, E. (1994): Vorstellungen von Jugendlichen zur Gentechnik und Fortpflanzungsmedizin [Adolescents' conceptions of genetic engineering and reproductive biology], in Bremekamp, E. (eds), *Faszination Gentechnik und Fortpflanzungsmedizin*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 11-25.
 Gruere, G.P., Carter, C.A. and Farzin, Y.H. (2008): What labelling policy for consumer choice? The case of genetically modified food in Canada and Europe. *Canadian Journal of Economics* **41** (4), 1472-1497. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1540->

- 5982.2008.00512.x
- Gupta, N., Fischer, A.R.H. and Frewer, L.J. (2012): Socio-psychological determinants of public acceptance of technologies: A review. *Public Understanding of Science* **21** (7), 782-795. <http://dx.doi.org/10.1177/0963662510392485>
- Hill, R., Stanisstreet, M., Boyes, E. and O'Sullivan, H. (1999): Genetically engineered foodstuffs: school students' views. *International Journal of Environmental Studies* **56** (6), 785-799. <http://dx.doi.org/10.1080/00207239908711240>
- House, L., Lusk, J., Jaeger, S., Traill, W.B. and others (2004): Objective and subjective knowledge: Impacts on consumer demand for genetically modified foods in the United States and the European Union. *AgBioForum* **7** (3), 113-123.
- James, C. (2012): Global status of commercialized biotech/GM crops: 2012. ISAAA Brief No. 44. Ithaca NY: ISAAA.
- Johnson, R.B. and Onwuegbuzie, A.J. (2004): Mixed methods research: A research paradigm whose time has come. *Educational Researcher* **33** (7), 14-26. <http://dx.doi.org/10.3102/0013189X033007014>
- Kaiser, F., Oerke, B. and Bogner, F.X. (2007): Behavior-based environmental attitude: Development of an instrument for adolescents. *Journal of Environmental Psychology* **27**, 242-251. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvp.2007.06.004>
- Kaiser, F.G., Brügger, A., Hartig, T., Bogner, F.X. and Gutscher, H. (2013): Appreciation of nature and appreciation of environmental protection: Stable attitudes, but which comes first? Manuscript submitted for publication.
- Knight, A.J. (2009): Perceptions, knowledge and ethical concerns with GM foods and the GM process. *Public Understanding of Science* **18** (2), 177-188. <http://dx.doi.org/10.1177/0963662507079375>
- Landis, J.R. and Koch, G.G. (1977): Measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* **33** (1), 159-174. <http://dx.doi.org/10.2307/2529310>
- Laros, F.J.M. and Steenkamp, J.B.E.M. (2004): Importance of fear in the case of genetically modified food. *Psychology and Marketing* **21** (11), 889-908. <http://dx.doi.org/10.1002/mar.20039>
- Maghari, B.M. and Ardekani, A.M. (2011): Genetically modified foods and social concerns. *Avicenna Journal of Medical Biotechnology* **3** (3), 109-117.
- Massarani, L. and Moreira, I.D. (2005): Attitudes towards genetics: A case study among Brazilian high school students. *Public Understanding of Science* **14** (2), 201-212. <http://dx.doi.org/10.1177/0963662505050992>
- Mayring, P. (2008): *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* [Qualitative content analysis: Principles and techniques]. Weinheim, Germany: Beltz.
- Pardo, R., Midden, C. and Miller, J.D. (2002): Attitudes toward biotechnology in the European Union. *Journal of Biotechnology* **98** (1), 9-24. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1656\(02\)00082-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1656(02)00082-2)
- Poortinga, W. and Pidgeon, N. (2006): Exploring the structure of attitudes toward genetically modified food. *Risk Analysis* **26** (6), 1707-1719. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1539-6924.2006.00828.x>
- Prokop, P., Lešková, A., Kubiátko, M. and Diran, C. (2007): Slovakian students' knowledge of and attitudes toward biotechnology. *International Journal of Science Education* **29** (7), 895-907. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690600969830>
- Roczen, N., Kaiser, F.G., Bogner, F.X. and Wilson, M. (2013): A competence model for environmental education. *Environment and Behavior*. Advance online publication.
- Ruddell, F. (1979): *Consumer food selection and nutrition information*. New York: Praeger.
- Sekretariat der Kultusministerkonferenz (2005): *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz – Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Bildungsabschluss* [Resolution of the Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs of the Länder in the Federal Republic of Germany – Standards of biology education for secondary school]. München: Luchterhand.
- Siegrist, M. (2003): Perception of gene technology, and food risks: Results of a survey in Switzerland. *Journal of Risk Research* **6** (1), 45-60. <http://dx.doi.org/10.1080/1366987032000047798>
- Sjöberg, L. (2008): Genetically modified food in the eyes of the public and experts. *Risk Management-An International Journal* **10** (3), 168-193.
- Šorgo, A. and Ambrožic-Dolinsek, J. (2010): Knowledge of, attitudes toward, and acceptance of genetically modified organisms among prospective teachers of biology, home economics, and grade school in Slovenia. *Biochemistry and Molecular Biology Education* **38** (3), 141-150. <http://dx.doi.org/10.1002/bmb.20377>
- Šorgo, A., Jausovec, N., Jausovec, K. and Puhek, M. (2012): The influence of intelligence and emotions on the acceptability of genetically modified organisms. *Electronic Journal of Biotechnology* **15** (1). <http://dx.doi.org/10.2225/vol15-issue1-fulltext-1>
- Stewart, P.A. and McLean, W.P. (2008): Public perceptions of benefits from and worries over plant-made industrial products and plant-made pharmaceuticals: The influence of institutional trust. *Review of Policy Research* **25** (4), 333-348. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1541-1338.2008.00335.x>
- Todt, E. and Götz, C. (1997): Hoffnungen und Befürchtungen von Jugendlichen gegenüber der Gentechnik [Hopes and fears of adolescents regarding genetic engineering]. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* **3** (2), 15-22.
- UN (1997): *Glossary of environment statistics*. Studies in methods: Series F, 67. New York: United Nations.
- Verdurme, A. and Viaene, J. (2003): Exploring and modelling consumer attitudes towards genetically modified food. *Qualitative Market Research: An International Journal* **6** (2), 95-110. <http://dx.doi.org/10.1108/13522750310470109>
- Wnuk, A. and Kozak, M. (2011): Knowledge about and attitudes to GMOs among students from various specializations. *Outlook on Agriculture* **40** (4), 337-342. <http://dx.doi.org/10.5367/oa.2011.0064>
- WHO (2005): *Modern food biotechnology, human health and development: An evidence-based study*. Genève: WHO.

E. 5 Teilarbeit C

Fröhlich, G., Goldschmidt, M. & Bogner, F. X. (2013).

The effect of age on students' conceptions of agriculture.

Studies in Agricultural Economics, 115(1), 61-67.

doi:10.7896/j.1301

Gabriele FRÖHLICH*, Marlen GOLDSCHMIDT* and Franz X. BOGNER*

The effect of age on students' conceptions of agriculture

Agricultural literacy is increasingly regarded as an important issue in sustainability education, yet little survey data regarding children and adolescents are available. We therefore surveyed two different age groups, fifth and sixth graders ($n=122$) and tenth graders ($n=158$) of German schools, about their conceptions of farmers' duties, thereby identifying seven distinct conceptions. The conception most frequently mentioned by the younger students was animals (85.7 per cent) followed by processing (68.7 per cent), whereas the older students named the conception plants (76.0 per cent) most often, followed by animals (65.2 per cent). We found discrepancies in the sub-conceptions of animals between the two age groups, but none in plants. Ecology-related aspects (5.1 per cent) were only mentioned by the older students. We then examined the effect of a student having an agricultural family background on the conceptions named. Only 25 per cent of the younger students and none of the older students reported a past contact with farms through visits or guided tours. We found that regardless of having an agricultural family background, most students lack an understanding of the impact of agriculture on the environment. Consequently, we conclude that agricultural education in German schools does not adequately teach modern agricultural practices or the importance of modern agricultural challenges.

Keywords: agriculture literacy, alternative conceptions, school education, context-related learning

* Universität Bayreuth, Universitätsstraße 30, 95447 Bayreuth, Germany. Corresponding author: gabriele.froehlich@uni-bayreuth.de

Introduction

Even before any educational interventions, children and adolescents have scientifically correct, less correct or even incorrect conceptions, originating from individual everyday experience (Tanner and Allen, 2005). Within the literature, there are many different terms for non-scientific conceptions, like *preconceptions* (Novak, 1977), *misconceptions* (Helm, 1980) or *everyday conceptions* (Lewis and Kattmann, 2004). In the following, we will use *alternative conceptions* (Driver and Easley, 1978) for non-scientific conceptions as a neutral term. Conceptions are very stable and firmly held (Duit and Treagust, 2003a; Treagust and Duit, 2008), even when students later learn about the correct scientific conceptions. During learning processes that consider the discrepancy between the alternative and the scientific conceptions, confusion on the students' side may arise and impede the learning process (Vosniadou *et al.*, 2001, Poehnl and Bogner, forthcoming). The conceptual change theory describes the methodology and principles of how mostly nonscientific conceptions can potentially be modified into scientific ones (Posner *et al.*, 1982). Such a change or even a total replacement of students' alternative conceptions is not a linear process and is generally very difficult to achieve (Duit and Treagust, 2003b). For a conceptual change process to take place, teachers and educators must first gather information about any alternative conceptions the students may have and then confront the students' alternative conceptions by presenting the scientific ones. The students' dissatisfaction with their alternative conceptions combined with the discrepancy between the conceptions themselves should start a process to modify the existing conceptions. The theory has subsequently been revised based on studies showing that there are still more or less big fragments of the alternative conceptions kept in the students' minds. Such studies have addressed how hybrid conceptions arise (Gilbert *et al.*, 1982); the development of the synthetic model (Vosniadou and Brewer, 1992); and peripheral conceptual change (Chinn and Brewer, 1993). Nevertheless, regarding the state of research on the efficiency of conceptual change approaches, 'there appears to be ample

evidence in various studies that these approaches are more efficient than traditional approaches dominated by transmissive views of teaching and learning' (Duit *et al.*, 2008, p.636).

In our present study, we identified the conceptions which students held before and at the end of secondary school regarding the field of agriculture as well as farmers' duties. To the best of our knowledge, there are currently no published studies about students' conceptions of this topic. In the field of agriculture and alternative conceptions, there are only a few studies: Trexler *et al.* (2000) analysed fifth graders' understanding of livestock and meat production; Heleski and Zanella (2006) asked animal science students about their conceptions concerning general husbandry practices; Meischen and Trexler (2003) mentioned a few studies about the agricultural literacy of elementary school students; and Trexler (2000) found that elementary school students did not show much understanding of modern agriculture, its place within society and its effects on the environment.

Our research focused on general farmers' duties. This may at first seem to be a very simple task, but it is an important first step in identifying students' conceptions and ideas about agriculture. In the agricultural field, owing to the fact that the students learn mostly through secondary and tertiary sources, stereotypes are developed and kept in a student's imagination (Wright *et al.*, 1994).

The need to overcome the previously described knowledge gap was first highlighted when agricultural literacy was defined in the 1990s (Frick *et al.*, 1991). Agricultural literacy defines and explains the principles and conceptions which every citizen should know about agriculture: the societal and global importance of agriculture; agricultural policy; agriculture's relationship with the environment and natural resources; plant and animal science; the processing, marketing and distribution of agricultural products.

However, why is knowledge about the agricultural industry and production practices important? Why is there a need for agricultural literacy? In the light of the recent food scandals (e.g., mad cow disease, *E. coli* outbreaks, antibiotics in meat and dioxin in eggs), the increasing environmental problems are to a vast extent thought to be caused by modern

agricultural practices (Leising *et al.*, 1998), and there is an ongoing debate about adequate food prices in politics and the media. Consequently, it is important for the next generation to have enough agricultural literacy to be in a position to form well-founded opinions about the future development of the agricultural industry and food production (Hubert *et al.*, 2000). The US National Research Council has already stated in 1988 that 'all students should receive at least some systematic instruction about agriculture' sometime over the course of their schooling (Meunier *et al.*, 2003, p.23).

In Bayern, Germany, where our study took place, such advice is not as common, but the awareness of the importance of agriculture education is increasing as shown by the requirement that every elementary student visits a farm and the government's financial support of these visits. Agriculture has a long tradition in Bayern and still is of importance in the nowadays modern industrial state. One third of the agricultural farms in Germany are situated in Bayern, which comprises a fifth of the size of Germany. The average size of a farm in Bayern is about 32 ha and nearly half of them are farmed as a sideline and as a family business. In 2011 the utilised agricultural area was about 44.6 per cent of the land coverage, which was a decline of 9 per cent in comparison to 1970 (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 2012). Nevertheless, agriculture still dominates the countryside, but fewer and fewer people are in close contact with agricultural practice.

As an added benefit, interdisciplinary agricultural involvement substantially improves students' scientific thinking and awareness of complex ecological conceptions (Ivanitskaya *et al.*, 2002; Knobloch, 2008). Integrating agriculture and agricultural topics within the curricula of scientific subjects could beneficially increase interests of individual people in science by connecting real-world applications with everyday lives (Lynch, 2000). In a pilot study at a secondary school, agriculture was integrated in science lessons during a complete school year: based on the higher student achievement levels he found, Balschweid (2001) showed this to be a more effective way of teaching science compared to teaching the usual content.

The low priority that has been assigned to agricultural education in schools' curricula in, for instance the United States (Trexler and Suedi, 1998; Terry *et al.*, 1992), as well as in Germany (Bishopink and Brandes, 2002; Busch, 2003) could have diverse reasons:

- The potential of agriculture as a science subject (including mathematical, chemical, biological and physical aspects) which relates to the everyday lives of students has not yet been realised by many teachers (Knobloch, 2008).
- Most teachers have little knowledge about agriculture. They therefore do not feel very competent concerning the issue nor consider agriculture as the important topic it is today (Ball *et al.*, 2003).
- A typical syllabus for teaching agriculture often includes a field trip to a farm or food-processing plant. Due to time-management problems or other reasons, these field trips are mostly cancelled (Prokop *et al.*, 2007).

To get a first impression about previous experience and knowledge, we asked students a simple question about what duties they consider typical for farmers. We expected a pattern association about the diverse fields of agriculture with the exception of the global trade markets. Based on these theoretical considerations our research objectives included answering two major questions: (1) What conceptions of farmers' duties do students have at the beginning and at the end of secondary school? and (2) Are there any differences between the conceptions of students with or without an agricultural family background?

Methodology

We selected fifth and sixth graders as subjects (87 fifth graders, 25 sixth graders; 50 boys, 62 girls; age: $M = 11.7$, $SD = 0.64$) as well as tenth graders (73 male adolescents, 85 female adolescents; age: $M = 16.0$, $SD = 0.81$); all the subjects were selected from 14 different classes from five different cities in the state of Bayern in Germany. The communities have populations of 13,000 to 73,000 inhabitants and the students came either directly from each city or from the rural surroundings. None of the schools had implemented agricultural education programmes or projects.

We chose age groups at the beginning and at the end of secondary school. All the subjects were surveyed about their conceptions of farmers' typical duties. They were asked to provide the first two conceptions that came to mind. The responses were iteratively categorised by following the method of inductive category development, a very common method in qualitative analyses (Figure 1, Mayring, 2000). In the first step, all the student answers were categorised according to the research question into 12 categories. An inter-rater reliability analysis using the Cohen's Kappa statistic was performed to determine the consistency among raters. Based on 10 per cent of the participants, all randomly selected, we calculated Cohen's coefficient Kappa for inter-rater consistency: $\kappa = .73$. According to Mayring (2000), this can be considered as sufficient.

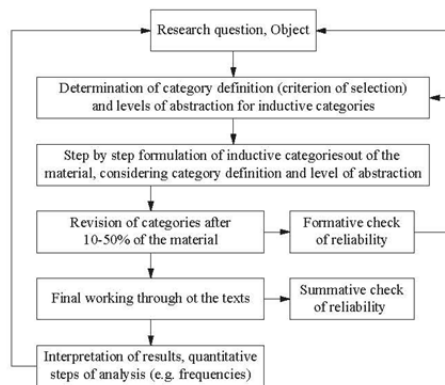


Figure 1: Step model of inductive category development (according to Mayring, 2002).

In the following steps, the categories were revised (feedback loops), and we extracted seven main categories out of the 12 preliminary ones and classified the answers according to these categories. Additionally, the two most frequent categories, *animals* and *plants*, were analysed in more detail to gain further insight into the students' conceptions of these categories. We also examined whether the students had an agricultural family background as well as the frequency and reason for individual farm visits.

Results

We selected seven different main conceptions (see Table 1) out of the total conception data body. The most popular association pairs derived from the younger students' responses were *animal – processing* (40.5 per cent), followed by *processing – animal* (31.0 per cent) and *animal – animal* (9.5 per cent). In comparison, the older students' responses were mostly *plant – animal* (40.6 per cent), *animal – plant* (27.1 per cent) and *plant – plant* (16.7 per cent).

Figure 2 shows the frequency as a percentage of all the participating fifth and sixth graders in comparison to tenth graders. The biggest difference between the two student groups is the naming of a plant-related conception: 76.0 per cent of the tenth graders named this type of conception in comparison to 8.9 per cent of the fifth and sixth graders. *Animals* is the conception most often reported by the younger students (85.7 per cent), whereby 65.2 per cent of the tenth graders named *animals* as the second most common conception. Also the fifth and sixth graders named *processing* more often than the tenth graders (68.8 and 29.8 per cent respectively). Ecological aspects, however, were only associated by the tenth graders (5.1 per cent).

For a more detailed analysis, we compared the sub conceptions of *animals* and *plants* from the two sample groups. In each of these categories, we identified eight sub conceptions named by the younger students and six named by the older students. Regarding the animal-related duties, the percentage of students who named *milking* is the biggest difference between the subsamples (fifth/sixth graders: 40.9 per cent; tenth graders: 1.6 per cent). Other notable differences include the naming of *feeding* (fifth/sixth graders: 12.5 per cent; tenth graders: 4.4 per cent) and animals such as *cows* (0.5 per cent) and *chickens* (0.5 per cent) were specifically named only by the younger students (Figure 3).

Comparing the individual answers with respect to plant-related aspects, we found no significant differences between the subsamples (Table 2).

Table 1: The seven main categories of Bavarian students' conceptions about the duties of farmers in 2011 (two answers per student).

Item	Main categories
What are the most important duties of farmers?	Activities related to... - Animals, e.g. feeding, breeding - Plants, e.g. field work, sowing - Ecology, e.g. land management - Processing, e.g. food production - Technology, e.g. tractor driving - Marketing, e.g. selling of products - Others, e.g. doing agriculture

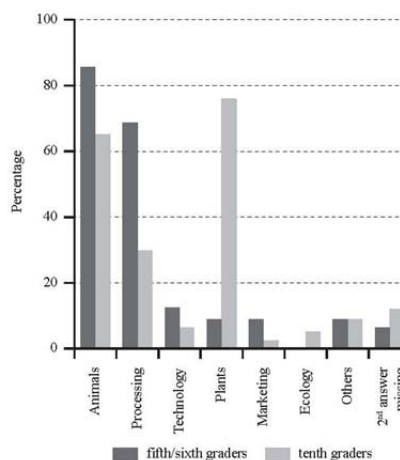


Figure 2: Percentage of the main categories of farmers' duties generated from the conceptions named by Bavarian fifth/sixth grade and tenth grade students concerning the duties of farmers in 2011.

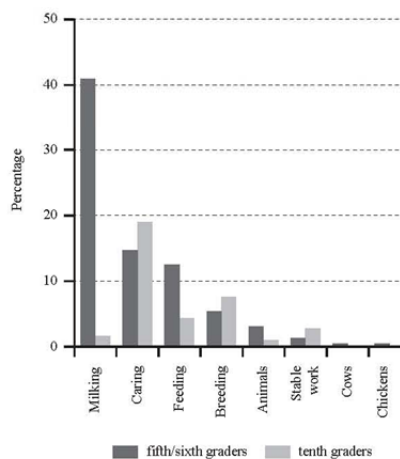


Figure 3: Comparison of the sub conceptions of animal-related duties of farmers named by Bavarian fifth/sixth grade and tenth grade students (percentage of all answers) in 2011.

Table 2: Comparison of the sub conceptions regarding farmers' plant-related duties between Bavarian fifth/sixth graders and tenth graders in 2011 (percentage of all answers).

Duty	Fifth/Sixth graders (%)	Tenth graders (%)
Agricultural land use	17.4	18.4
Harvesting	7.6	9.5
Crop	5.8	3.2
Cultivation	4.5	8.2
Sowing	2.2	2.5
Vegetables	1.8	3.2
Plant breeding	0.9	-
Manuring	0.9	-

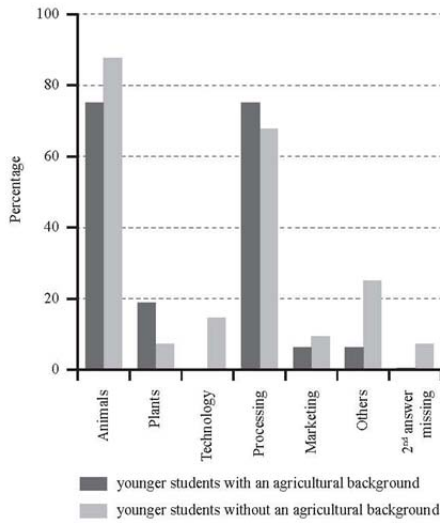


Figure 4: Comparison of the conceptions concerning the duties of farmers as named by Bavarian fifth and sixth grade students with (n=16) and without (n=96) an agricultural family background in 2011.

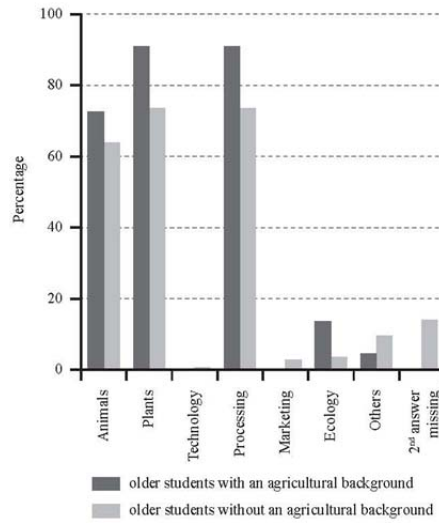


Figure 5: Comparison of the conceptions concerning the duties of farmers as named by Bavarian tenth grade students with (n=22) and without (n=136) an agricultural family background in 2011.

Dividing the group of fifth and sixth graders into groups of students with (n=16) and without (n=96) an agricultural family background, we found further differences in the answers concerning the duties of farmers (Figure 4). Students with no agricultural family background named the category *animals* most often (87.5 per cent) followed by *processing* (67.7 per cent). Students with an agricultural family background, however, named these two categories with similar frequency (*processing*, *animals*: 75.0 per cent). Interestingly, the category *plant* was named twice as often by students with an agricultural family background compared to those without (18.8 per cent c.f. 7.3 per cent). The answer spectrum for these students was also greater (*others*: 25.0 per cent c.f. 6.3 per cent). Of the students without an agricultural family background, 7.3 per cent had problems identifying a second duty.

We also examined the answers provided by tenth graders with (n=22) and without (n=136) an agricultural family background and found interesting results. This comparison of naming divided in the existence of an agricultural fam-

ily background is also very interesting for the older students (Figure 5). All the students without an agricultural family background named *animals* (72.7 per cent), *plants* (90.9 per cent) and *ecology* (13.6 per cent) more often than the other group (64.0, 73.5 and 3.7 per cent respectively). Furthermore, 14.0 per cent of the students without an agricultural family background could not name a second duty.

To gather additional information, we asked the students how often they visit a farm on average. Independent of age, most of the students reported having visited a farm several times in the past (fifth/sixth graders 53.6 per cent; tenth graders 44.3 per cent). In the younger student sample group, except for those students who visited a farm infrequently (fewer than several times), visiting friends and family was the most often stated reason. Just four of the fifth and sixth graders and two of the tenth graders named either a kindergarten or school field trip as a reason for a visit. Also comparable between the two subsamples is the percentage of students who never visited a farm: 4.5 per cent and 4.4 per cent (Table 3).

Table 3: Frequency and most reported reasons for farm visits of the sample groups of Bavarian students.

Frequency	fifth/sixth graders (%) (n= 112)	Most reported reason	tenth graders (%) (n= 158)	Most reported reason
Every day	2.7	Family home (100%)	3.8	Friends/Family (83.3%)
Several times a week	14.3	Friends/Family (50.0%)	9.5	Friends/Family (53.3%)
Several times	53.6	Friends/Family (36.7%)	44.3	Friends/Family (64.3%)
Infrequently	25.0	Visits/Guided tour (64.3%)	38.0	Friends/Family (50.0%)
Never	4.5	-	4.4	-

Discussion

The main focus of our study is the quantitative and qualitative analysis of students' conceptions about farmers' duties at the beginning and at the end of secondary school. Most of the students' conceptions, independently of age, include very simple conceptions of farmers' duties. Some of the associations do not include activities as required, but instead function as substantial umbrella terms such as for example *animals* and *plants*. Considering these answers, we may conclude that these students do not have detailed conceptions about the duties of farmers. The production of food, generally mentioned as the main duty of farmers, was defined as *processing*. Most of the students named either specific animal- or plant-based products such as milk or vegetables without merging them to one higher-level category, for example food production. Interestingly, none of the conceptions of modern agricultural practices, such as bioenergy, soil conservation and efficient management, were stated. Therefore, either the students do not know about these practices or they may not consider them as important duties of farmers. Our results indicate that students seem to have a very old-fashioned image of farmers and use stereotypic associations concerning the related duties. The students often focus on the manual labour of farmers and nearly completely miss the chemical, physical, economic or ICT-related tasks and/or competencies involved. This result is in line with Ruth *et al.* (2005) who analysed this issue in the mass media by specifically pointing to an underrepresentation of modern and authentic agriculture on television (Searls *et al.*, 1985).

The older students naming plant-related aspects much more often than the younger ones might be due to individual cognitive development: 11- to 13-year-olds see animals as very important, whereas plants are of no interest (Kellert, 1985, Morgan, 1992). This is in line with our results where the older students (15- to 17-year olds) named plant conceptions nearly as often as animal conceptions. Students of this age group apparently see the farmers' duties as nearly equally divided between animal and plant related duties. In conclusion, our results suggest that the students either have the conception of a farm with animal- as well as plant-production or they see plant-based production as the focus of agricultural production.

This can be clearly seen when the conceptions are analysed in more detail. With regard to the number of animal-related duties named in relation to the total number of conceptions, the fifth graders named *milking* most often (40.9 per cent), while the tenth graders seldom named this aspect (1.6 per cent). For the younger students, milk seems to be far more important than it is for the older ones in this context. Milk production and cows seem to be for many of them the embodiment of agriculture.

As the results another study also indicate (Poudel *et al.*, 2005), our students were not likely aware of the importance of the agriculture-environment link. However, we can say that the tenth graders may be more aware than the fifth and sixth graders of the relation between agriculture and environment since at least 5 per cent of the duties that they name are ecology-related duties. This suggests that either the students may not know the impact of agriculture on the environ-

ment or they do not consider the environmental aspects of agriculture to be very important. Regardless of the reason, the students seem to lack knowledge about the close interrelation of agriculture and ecology. Considering the severe environmental problems caused by agriculture, students as the future generation should know about the relationship between agriculture and ecology as they have to face these problems in the future.

Yet when we compared the answers between students with and without an agricultural family background, we found that ecology-related duties were named more often by students with an agricultural family background. This corroborates on the one hand the importance of farmers' ecology-related duties and on the other hand the knowledge gap regarding these duties experienced by students with less contact to agriculture.

Matthews and Falvey (1999) showed that non-metropolitan tenth graders have a more negative view of the impacts of agriculture on the environment than metropolitan students. Our results show that the tenth graders with an agricultural family background mentioned ecological aspects more often than the students with no agricultural background. However, our students might have mentioned ecological duties more often, an indication of the duties' perceived importance, because they know about the negative impact of agriculture on the environment. As the younger students did not mention ecological duties at all, we recommend teachers and educators to focus on this important aspect when educating younger students.

Summarising our findings, we find no relevant differences in the answers from both age groups except in the case of plant-related aspects. Therefore we assume that the agricultural education in secondary schools in Bayern, Germany are not providing students with deep knowledge of agricultural practices nor focusing on the preliminary challenges and tasks of modern agriculture. Of course, the main duty of farmers is producing food, but most of the students could not think of anything else. There may be a reason for that which involves the frequency of the students' farm visits: only the younger students reported infrequent visits to a farm through guided tours, which may have been organised by schools; the most common reasons for both age groups to visit a farm were friends or family. To what extent they got to know background knowledge when visiting friends or grandparents is questionable. For this reason, it is school education that must ensure students attain agricultural literacy. To change the conceptions of the students to reflect a more in-depth understanding of farmers' duties, we suggest interventions or programmes where the students could get an opportunity to get more in contact with agriculture and actual farmers. The most efficient way would be to get the students actively involved with a farmer's work, possibly arranged as farm-stays on a modern farm with large-scale production facilities. If that is for some reason not possible, the teachers should at least show scientific documentaries since these also have effects on students' awareness and learning (Barbas *et al.*, 2009). The students on educational farms often are only exposed to very simple images and basic ideas of agriculture. Most of the farms offering pedagogical programmes are very different from modern farms, for example, with respect to

the size, amount of animals and farming techniques. Therefore, it is not only important for the students to have real experiences on such farms, where it is easier to implement students as workers, an authentic life experience at modern industrialised farms is also important.

Another reason for the lack of agricultural literacy could be, as already mentioned, teachers' lack of knowledge about modern agricultural practices. Anderson *et al.* (2010) conducted a study with teachers at different educational levels (pre-kindergarten through secondary school) about their conceptions of agriculture. The teachers' conceptions mainly consisted of those in animal and plant production, as in our study with the students. It is therefore important not only to educate the students but also the teachers in agriculture literacy. The teacher training should also be done on farms to give the teachers the opportunity to gain a deeper understanding of agriculture by talking to farmers and experts. Additionally, the idea of agriculture as a science subject seems to be an innovative method of teaching and should be fostered in schools.

In conclusion, we find that it is absolutely essential to apply interventions that teach modern agriculture practices or to restructure the curricula in such a way that the students learn the required knowledge.

Potential limitations of the study

To achieve this, we used the paper-pencil-method to get quantitative data. A more qualitative analysis, however, would be very interesting to obtain more in-depth information about the students' images of agricultural practices. According to the students' answers in our study, students may form their conceptions based on picture booklets or personal experience on small farms. For future research on agricultural conceptions, we suggest interviews or focus groups to gain more in-depth knowledge about agricultural literacy in different age groups. As there appears to be a lack of knowledge regarding the impact of agriculture on the environment, this should also be a focus of future investigations.

Although the teacher's knowledge is regarded an important factor as well (Frick *et al.*, 1995; Knobloch, 2008; Anderson *et al.*, 2010), we were not able to collect such data due to administrative restrictions. However, to the best of our knowledge, this is the first study to collect the conceptions of Western European (in our case, German students) students about agriculture. In the United States, the awareness of the importance of agricultural education was established about 20 years ago. Yet in Europe, this realisation of the importance of agricultural education is just at the beginning, and the research in this educational field has just started.

References

- Anderson, S.M., Thompson, G.W and Velez, J. (2010): A Qualitative Analysis of Teachers' Conceptions of Agriculture. In: Proceedings of the Western AAAE Research Conference, 213-227.
- Ball, A.L., Knobloch, N.A., Silberhorn, R.M. and Allen, C.A. (2003): Elementary and junior high school teachers' beliefs of the most beneficial aspects of teaching agriculture. In: Proceedings of the North Central Region AAAE Research Conference, 77-87.
- Balschweid, M.A. (2001): Teaching biology using agriculture as the context: Perceptions of high school students. *Journal of Agricultural Education* **43** (2), 361-373.
- Barbas, T.A., Paraskevopoulos, S. and Stamou, A.G. (2009): The effect of nature documentaries on students' environmental sensitivity: A case study. *Learning, Media and Technology* **34**, 61-69. <http://dx.doi.org/10.1080/17439880902759943>
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (2012): Bayerischer Agrarbericht 2012: Fakten und Schlussfolgerungen [Bavarian Agricultural Report: Facts and Conclusions]. München: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- Bischopink, B. and Brandes, P. (2002): Analyse der Rahmenrichtlinien/Lehrpläne (Primarstufe, Sekundarstufe I, gymnasiale Oberstufe) zu landwirtschaftlichen Themenbereichen in der Bundesrepublik Deutschland 2002 [Analysis of curricula (elementary and secondary school) concerning agricultural topics in Germany 2002]. Altenkirchen, Germany: Bundesarbeitsgemeinschaft Lernort Bauernhof e.V.
- Busch, C. (2003): Das Leitbild der Landwirtschaft im Schulischen Unterricht [Role model of agriculture in school lessons]. München, Germany: GRIN Verlag GmbH.
- Chinn, C.A. and 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. and Easley, J. (1978): Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education* **5** (1), 31-84. <http://dx.doi.org/10.1080/03057267808559857>
- Duit, R. and Treagust, D.F. (2003a): Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education* **25**, 671-688. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690305016>
- Duit, R. and Treagust, D.F. (2003b): Learning in Science-From Behaviourism Towards Social Constructivism and Beyond, in B.J. Fraser and K.Tobin (eds), *International Handbook of Science Education* volume 1. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 3-25.
- Duit, R., Treagust, D.F. and Widodo, A. (2008): Teaching science for conceptual change: Theory and practice, in S. Vosniadou (ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*. Educational Psychology Handbook series. New York: Routledge, 629-646.
- Frick, M.J., Kahler, A.A. and Miller, W.W. (1991): A definition and the concepts of agricultural literacy. *Journal of Agricultural Education* **32**, 49-57. <http://dx.doi.org/10.5032/jae.1991.02049>
- Frick, M.J., Birkenholz, R.J., Gardner, H. and Machtmes, K. (1995): Rural and urban inner-city high school student knowledge and perception of agriculture. *Journal of Agricultural Education* **36**, 1-9. <http://dx.doi.org/10.5032/jae.1995.04001>
- Gilbert, J.K., Osborne, R.J. and Fensham, P.J. (1982): Children's science and its consequences for teaching. *Science Education* **66**, 623-633. <http://dx.doi.org/10.1002/sce.3730660412>
- Heleski, C.R. and Zanella, A.J. (2006): Animal science student attitudes to farm animal welfare. *Anthrozoos: A Multidisciplinary Journal of the Interactions of People* **19**, 3-16.

- Helm, H. (1980): Misconceptions in physics amongst South African students. *Physics Education* **15**, 92-105. <http://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/15/2/308>
- Hubert, D., Frank, A. and Igo, C. (2000): Environmental and agricultural literacy education. *Water, Air, and Soil Pollution* **123**, 525-532. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1005260816483>
- Ivanitskaya, L., Clark, D., Montgomery, G. and Primeau, R. (2002): Interdisciplinary learning: Process and outcomes. *Innovative Higher Education* **27**, 95-111. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1021105309984>
- Kellert, S.R. (1985): Attitudes Toward Animals: Age-Related Development Among Children. *Journal of Environmental Education* **16**, 29-39. <http://dx.doi.org/10.1080/00958964.1985.9942709>
- Knobloch, N.A. (2008): Factors of teacher beliefs related to integrating agriculture into elementary school classrooms. *Agriculture and Human Values* **25**, 529-539. <http://dx.doi.org/10.1007/s10460-008-9135-z>
- Leising, J., Igo, C.G., Heald, A., Hubert, D. and Yamamoto, J. (1998): *A Guide to Food & Fiber Systems Literacy: A Compendium of Standards, Benchmarks, and Instructional Materials for Grades K-12*. Stillwater OK: Oklahoma State University.
- Lewis, J. and Kattmann, U. (2004): Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education* **26**, 195-206. <http://dx.doi.org/10.1080/0950069032000072782>
- Lynch, R.L. (2000): High school career and technical education for the first decade of the 21st century. *Journal of Vocational Education Research* **25**, 155-198.
- Matthews, B. and Falvey, L. (1999): Year 10 students' perceptions of agricultural careers: Victoria (Australia). *Journal of International Agricultural and Extension Education* **6**, 55-67.
- Mayring, P. (2000): Qualitative Content Analysis [28 paragraphs]. *Forum: Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research* **1** (2).
- Mayring, P. (2002): Einführung in die qualitative Sozialforschung: eine Anleitung zu qualitativem Denken [Introduction in qualitative social research: guideline to qualitative thinking]. Weinheim, Germany: Beltz.
- Meischen, D.L. and Trexler, C.J. (2003): Rural elementary students' understanding of science and agricultural education benchmarks related to meat and livestock. *Journal of Agricultural Education* **44**, 43-55. <http://dx.doi.org/10.5032/jae.2003.01043>
- Meunier, R.A., Talbert, B.A. and Latour, M.A. (2003): Evaluation of the incubators in the classroom program: does it increase fourth grade students' and teachers' knowledge about agricultural professions? *Journal of Agricultural Education* **44** (3), 23-33. <http://dx.doi.org/10.5032/jae.2003.03023>
- Morgan, J.M. (1992): A theoretical basis for evaluating wildlife-related education programs. *The American Biology Teacher* **54**, 153-157. <http://dx.doi.org/10.2307/4449436>
- Novak, J.D. (1977): *A theory of education*. Ithaca NY: Cornell University Press.
- Poehnl, S. and Bogner, F.X. (forthcoming): Cognitive load and alternative conceptions in learning genetics: effects from provoking confusion. *The Journal of Educational Research*, in press.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. and Gertzog, W.A. (1982): Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education* **66**, 211-227. <http://dx.doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- Poudel, D.D., Vincent, L.M., Anzalone, C., Huner, J., Wollard, D., Clement, T., DeRamus, A. and Blakewood G. (2005): Hands-on activities and challenge tests in agricultural and environmental education. *The Journal of Environmental Education* **36**, 10-22. <http://dx.doi.org/10.3200/JOEE.36.4.10-22>
- Prokop, P., Tuncer, G. and Kvasničák, R. (2007): Short-term effects of field programme on students' knowledge and attitude toward biology: a Slovak experience. *Journal of Science Education and Technology* **16**, 247-255. <http://dx.doi.org/10.1007/s10956-007-9044-8>
- Ruth, A.M., Lundy, L.K. and Park, T.D. (2005): Glitz, Glamour, and the Farm: Portrayal of Agriculture as the Simple Life. *Journal of Applied Communications* **89**, 21-37.
- Searls, D.T., Mead, N.A. and Ward, B. (1985): The Relationship of Students' Reading Skills to TV Watching, Leisure Time Reading, and Homework. *Journal of Reading* **29**, 158-162.
- Tanner, K. and Allen, D. (2005): Approaches to biology teaching and learning: understanding the wrong answers – teaching toward conceptual change. *Cell Biology Education* **4**, 112-117. <http://dx.doi.org/10.1187/cbe.05-02-0068>
- Terry, Jr. R., Herring, D.R. and Larke, Jr. A. (1992): Assistance needed for elementary teachers in Texas to implement programs of agricultural literacy. *Journal of Agricultural Education* **33**, 51-60. <http://dx.doi.org/10.5032/jae.1992.02051>
- Treagust, D.F. and Duit, R. (2008): Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education* **3**, 297-328. <http://dx.doi.org/10.1007/s11422-008-9090-4>
- Trexler, C.J. (2000): A qualitative study of urban and suburban elementary student understandings of pest-related science and agricultural education benchmarks. *Journal of Agricultural Education* **41**, 89-102.
- Trexler, C.J. and Suvedi, M. (1998): Perception of Agriculture as a Context for Elementary Science Teaching: A Case of Change in Sanilac County, Michigan. *Journal of Agricultural Education* **39**, 28-36. <http://dx.doi.org/10.5032/jae.1998.04028>
- Trexler, C.J., Johnson, T. and Heinze, K. (2000): Elementary and middle school teacher ideas about the agri-food system and their evaluation of agri-system stakeholders' suggestions for education. *Journal of Agricultural Education* **41**, 30-38. <http://dx.doi.org/10.5032/jae.2000.01030>
- Vosniadou, S. and Brewer, W.F. (1992): Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology* **24**, 535-585. [http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285\(92\)90018-W](http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285(92)90018-W)
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A. and Papademetriou, E. (2001): Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction* **11**, 381-419. [http://dx.doi.org/10.1016/S0959-4752\(00\)00038-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0959-4752(00)00038-4)
- Wright, D., Stewart, B.R. and Birkenholz, R.J. (1994): Agricultural awareness of eleventh grade students in rural schools. *Journal of Agricultural Education* **35**, 55-60. <http://dx.doi.org/10.5032/jae.1994.04055>

E. 6 Teilarbeit D

Goldschmidt, M. & Bogner, F. X. (2015).

Learning about genetic engineering in an outreach laboratory: Influence of motivation and gender on students' cognitive achievement.

International Journal of Science Education Part B: Communication and Public Engagement.

Advance online publication.

doi:10.1080/21548455.2015.1031293

This is an Accepted Manuscript of an article published by Taylor & Francis in the International Journal of Science Education Part B: Communication and Public Engagement on 11th April 2015, available online: <http://dx.doi.org/10.1080/21548455.2015.1031293>.

Learning About Genetic Engineering in an Outreach Laboratory: Influence of Motivation and Gender on Students' Cognitive Achievement

International Journal of Science Education Part B: Communication and Public Engagement

Marlen Goldschmidt^{a*} and Franz X. Bogner^a

^a *Z-MNU (Center of Mathematics & Science Education), Department of Biology Education, University of Bayreuth, Universitätsstraße 30, 95447, Bayreuth, Germany*

*Corresponding author:

Department of Biology Education, University of Bayreuth, Universitätsstraße 30, 95447, Bayreuth, Germany

Email: marlen.goldschmidt@uni-bayreuth.de

Phone: +49 (0) 921 55 2597

Fax: +49 (0) 921 55 2696

This work was supported by the German National Science Foundation under Grant [DFG BO 944/4-5]; the Oberfranken Foundation under Grant [02094]; and the Bavarian State Ministry of the Environment and Public Health.

Abstract

During the last ten years, outreach science laboratories have become increasingly popular due to resource and time limitations in schools. Outreach laboratories offer hands-on projects in a situated and authentic learning setting, thereby promoting the development of students' scientific literacy. However, students' cognitive achievement within this context is still a subject of study. The aim of our outreach-lab study was twofold: First, we investigated the influence of students' motivation to learn science on their cognitive achievement. Second, we examined possible gender differences with respect to achievement, cognitive load, and instructional efficiency. We conducted an educational intervention on plant genetic engineering with Bavarian 10th graders ($N = 197$) in an outreach laboratory. We applied a pre-post design with a follow-up test monitoring students' motivation to learn science, their cognitive achievement, and cognitive load. The last two variables were combined in the calculation of instructional efficiency. Our results indicated a substantial knowledge increase both in the short-term and long-term (medium to large effect), while highly motivated students achieved higher scores. Furthermore, we found significant gender differences in cognitive achievement and instructional efficiency, revealing that the females had a higher knowledge increase, resulting in a higher instructional efficiency (small to medium effect). Our findings suggest that the active engagement in hands-on laboratory activities is especially beneficial for females. Therefore, we recommend improving the quality and quantity of laboratory experiences in science education to overcome gender differences. We discuss some potential implications for teaching.

Keywords

Cognitive load theory; Gender gap; Out-of-school setting; Science education; Science Motivation Questionnaire (SMQ)

Introduction

The importance of scientific literacy for today's societies is rapidly increasing (Organization for Economic Cooperation and Development [OECD], 2007), since science and technology permeates every facet of modern life (Areepattamannil, Freeman, & Klinger, 2011). Beside this strong influence of science on people's daily lives, people in turn influence the direction and use of science and technology (Roberts, 2007). In this context, people have to face a lot of controversial and multifaceted issues, so-called socio-scientific issues (e.g., climate change, cloning, genetic engineering, and preimplantation genetic diagnosis). To prepare young students to confront these issues as responsible members of society, teachers need to pay attention to the development of scientific literacy in science education. In line with this, recent reform efforts in science education advocate the development of scientific literacy and students' scientific thinking skills (e.g., Areepattamannil, Freeman, & Klinger, 2011; Feinstein, 2011). In Germany, as in many other countries, national education standards underline the importance of scientific literacy within the scope of science education (Sekretariat der Kultusministerkonferenz [The Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs in the Federal Republic of Germany], 2005): Students' capability to understand scientific knowledge, to identify scientific questions and hypotheses, to plan and conduct scientific investigations, to collect and analyze data, and to draw evidence-based conclusions needs to be fostered (Bryan, Glynn, & Kittleson, 2011; Jurišević, Vrtačnik, Kwiatkowski, & Gros, 2012). In this context, laboratory experiences are conducive to support students in developing and practicing the appropriate skills (Hofstein & Lunetta, 2004). Thus, laboratory experiences have a distinctive and central role in the recent science curricula (e.g., Bavarian Curriculum, Bavarian Ministry of Education, 2008; UK Curriculum, UK Department for Education, 2013), and they are thought to support central science education goals (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007). Many science educators emphasize the benefits resulting from students' laboratory activities (e.g., Glowinski & Bayrhuber, 2011; Scharfenberg & Bogner,

2010) arguing that science education cannot be meaningful without practical experience in the laboratory (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007).

Ensuring that students develop scientific literacy and experience laboratory activities could be realized in formal as well as informal educational contexts. But due to resource and time limitations, numerous science laboratory activities are not realizable in a typical school lab. Therefore, outreach laboratories as an out-of-school setting are becoming increasingly popular. In Germany, numerous outreach laboratories have been established over the last ten years. They are usually realized in collaboration with universities or museums, and most of them are aimed at upper-secondary students (Glowinski & Bayrhuber, 2011). Outreach laboratories offer hands-on projects not only with the objective of imparting new knowledge, but also to allow students to experience science in a situated and authentic learning setting. Moreover, the laboratories are characterized by a high amount of practical work, team work, and cooperative work with real scientists as well as the connection of scientific knowledge with everyday life (Buntine et al., 2007; Glowinski & Bayrhuber, 2011). Taking all of these aspects into account, the contextual model of learning (Falk & Dierking, 2000) provides a framework well suited for investigating out-of-school settings, like outreach laboratories involving physical parameters (e.g., an authentic and context-related learning environment), personal parameters (e.g., knowledge, interest, and motivation), and sociocultural parameters (e.g., group work). The situated and authentic learning environment in the outreach laboratory as well as the everyday-life context are a driving force for learning, helping students to transfer knowledge, skills, and attitudes to real life (Merrill, 2002; Paas, Tuovinen, Van Merriënboer, & Darabi, 2005). Additionally, the student-centered and cooperative learning in groups enhances competencies which are necessary for social interaction and students' later careers (Lord, 2001). Such learning environments are believed to foster students' motivation and achievement (Bryan, Glynn, & Kittleson, 2011). For instance, employing collaborative learning settings may be one possible way of reducing the individual cognitive load, since students are thought to profit from each other (Schellens & Valcke, 2005). In our recent study in the outreach laboratory, we focused on motivational and cognitive aspects while investigating students' motivation to learn science, cognitive

achievement, cognitive load, and instructional efficiency, particularly with regard to gender differences. In the following section, we provide an overview of science education research with respect to these issues and formulate our research questions.

During the last twenty years, many research studies have focused on the educational effectiveness of science laboratory activities in terms of cognitive, affective, and practical goals (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007). Although extensive literature reviews (cf., Hofstein & Lunetta, 1982; 2004) indicate that science laboratories play an important role in science education, there is still insufficient research regarding the various relationships between laboratory activities and student learning (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007). However, it is indisputable that learning environments influence students' motivation, self-beliefs, and achievement (Areepattamannil, Freeman, & Klinger, 2011; Falk & Dierking, 2000). Glowinski and Bayrhuber (2011) stated that outreach laboratories effectively promote motivational and affective parameters because students are placed in the role of scientists in an authentic learning environment. Within this framework, motivation is defined as the internal state that arouses, directs, and sustains students' science learning behavior (Glynn, Taasoobshirazi, & Brickman, 2009). Social cognitive theory (Bandura, 2001) considers students' characteristics, behaviors, and learning environments interactively and conceptualizes motivation as a multicomponent construct. This construct involves, for instance, intrinsic motivation (students' inherent satisfaction in learning science for its own sake), self-determination (the control the students believe they have over their learning), self-efficacy (students' belief in highly achieving in science), and extrinsic motivation (learning as a means to a tangible end, e.g., a career or a grade; Glynn, Brickman, Armstrong, & Taasoobshirazi, 2011). Motivated students are presumed to improve their achievement by engaging in strategic behaviors such as class participation, class attendance, question asking, advice seeking, studying, and participating in work groups (Pajares, 1996). Aside from that, Urdan and Maehr (1995) assumed learners' motivation depends on the meaning and interpretation students give to their learning experiences. Glynn, Taasoobshirazi, and Brickman (2009) showed that intrinsic motivation is the most important component associated with students' science learning, explaining nearly one

third of the total variation in their study. In line with this, other studies have specifically linked intrinsic motivation to a positive impact, for instance, to psychological well-being and increased academic effort (Smith, Deemer, Thoman, & Zazworsky, 2014).

Beside the above mentioned motivational effects, the influence of science laboratory activities on students' cognitive achievement is frequently discussed in the literature, with contradictory results. Tobin (1990) described laboratory activities as a learning method specifically supporting students' understanding and construction of knowledge by engaging them in doing science. In their study, Abrahams and Millar (2008) stated that students found laboratory activities useful and enjoyable in comparison to other science teaching and learning activities. Nevertheless, there was little evidence that practical work was generally effective in fostering students' scientific thinking skills and cognitive achievement (Abrahams & Millar, 2008). In line with this, Hodson (1991) argued that laboratory activities do not contribute to students' learning of science, since practical work is often ill-conceived, confused, and unproductive. Other studies, however, supposed substantial effects of science-laboratory activities on students' science achievement and their science process skills (Areepattamannil, Freeman, & Klinger, 2011; Freedman, 1997; Glowinski & Bayrhuber, 2011; Tuan, Chin, & Shieh, 2005). Areepattamannil, Freeman, and Klinger (2011) suggested that laboratory activities enhance students' procedural and conceptual understanding, their intellectual and practical skills, as well as their scientific literacy. Accordingly, Freedman (1997) found that those students frequently involved in hands-on lab work scored significantly higher in cognitive achievement than students who seldom experienced hands-on activities.

The relation between motivational aspects and students' achievement has also been investigated in several studies. Glynn, Taasobshirazi, and Brickman (2007) suggested in their study that motivation plays an important role in students' science achievement, since they found a relation between poor motivation and students' low achievement. Particularly, intrinsic motivation to learn science is considered to be important for students' cognitive engagement and achievement (Osborne, Simon, & Collins, 2003). Unlike extrinsically motivated students, intrinsically motivated students achieve more highly because they show higher engagement,

willingly devote time in their science activities, and perceive science learning as a meaningful activity (Areepattamannil, Freeman, & Klinger, 2011).

Even in the framework of cognitive load theory (Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998) motivation is recognized as a strong influencing variable on students' learning. Cognitive load is defined as the mental activity of working memory (Baddeley, 1992) that is required to complete a task. Due to the limited capacity of working memory, dealing with a large amount of novel, unorganized information becomes increasingly difficult, because learners have to find an appropriate form of organization in order to construct cognitive schemata (Van Merriënboer & Ayres, 2005). Sweller, Van Merriënboer, and Paas (1998) identified three cognitive load components: (1) intrinsic load, which is caused by the element interactivity of the presented content and is influenced by the individual expertise of the learners; (2) extraneous load, which refers to the instructional mode and does not contribute to students' learning or, at worst, hampers it; and (3) germane load, which is necessary for individually processing information and transferring it to long-term memory, thereby enabling learning. These components are regarded as additive (Sweller, 2006): Reducing intrinsic and/or extraneous load may potentially increase the germane component, which is of prime importance for learning. On this basis, instructional efficiency describes the relative efficiency of different instructional conditions by combining cognitive achievement data and cognitive load data (Paas & Van Merriënboer, 1993), making it possible to consider the cognitive expense at which the students' cognitive achievement has been reached (Paas, Van Merriënboer, & Adam, 1994). Considering motivational aspects in this context, Paas, Tuovinen, Van Merriënboer, and Darabi (2005) argued that motivation may especially influence the increase of learners' germane cognitive load. Learning can only be effective and meaningful if students are motivated to invest mental effort (cognitive load) in learning processes and if they are motivated to highly achieve (Van Merriënboer & Ayres, 2005). Therefore, motivation, cognitive load, and cognitive achievement are considered to be positively related (Paas, Tuovinen, Van Merriënboer, & Darabi, 2005). Nevertheless, it is necessary to investigate the influence of learners' motivation on science

achievement in different instructional contexts and in different educational environments, for instance, outreach laboratories.

Since gender plays an important role as an influencing variable in science education research, we decided to pay attention to gender differences in our recent study. The factors explaining gender differences in science are multifaceted and include participation, cultural and social expectations, attitudes, motivation, ability, and interest (Burkam, Lee, & Smerdon, 1997). Accordingly, recent studies have proven the still present gender gap in science education: female students still have less interest in science and tend to be less motivated than male students in the school science context (Fortus & Vedder-Weiss, 2014; Miller, Slawinski Blessing, & Schwartz, 2006). Moreover, female adolescents' attitudes toward science are less positive than male adolescents' attitudes (Osborne, Simon, & Collins, 2003), while males show stronger ability beliefs in science (Meece, Glienke, & Burg, 2006). But, gender differences within science education are believed to be a matter of subject. Whereas male students outperform female students in mathematics and physics, females seem to be more interested and engaged in biology (Miller, Slawinski Blessing, & Schwartz, 2006). In the context of science laboratory experience and outreach labs, there are several aspects potentially influencing gender effects: the learning environment, collaborative learning methods, as well as the hands-on activities. Lin, Hong, and Huang (2012) concluded that the authentic learning environment and the everyday-life context of laboratory activities are one of the most important reasons for females to develop an interest in science. Miller, Slawinski Blessing, and Schwartz (2006) argued that female students and male students may experience science learning environments very differently, with females tending to prefer learning methods that are more connected rather than distanced (e.g., cooperative teams or other collaborative methods with students helping each other). In line with this, other studies have reported a preference of females for cooperative learning methods, while males seem to benefit more from teacher-centered methods (Lord, 2001; Meece, Glienke, & Burg, 2006). Furthermore, Burkam, Lee, and Smerdon (1997) found that hands-on activities are especially beneficial for female students' performance in the science lab. But females often lack hands-on experience. Due to low self-confidence about their ability

to do science, females underestimate their competencies, and thus, they are less actively engaged in science lessons and hands-on work (Kahle, Parker, Rennie, & Riley, 1993). Therefore, they miss the science understanding and interest generated by such experiences (Burkam, Lee, & Smerdon, 1997).

Within our current study, we first investigated the influence of students' motivation to learn science on their cognitive achievement in the outreach laboratory. Second, we focused on the instructional efficiency (combination of cognitive achievement and cognitive load) of an educational intervention in the outreach laboratory with respect to gender differences.

Accordingly, we raised the following two research questions:

1. Is students' cognitive achievement in the outreach laboratory related to their motivation to learn science?
2. Do students' cognitive achievement and cognitive load as well as the instructional efficiency of an educational intervention in an outreach laboratory differ with respect to gender?

Methodology

Educational Intervention

The educational intervention took place in our outreach laboratory (see Figure 1), an out-of-school setting where we offer hands-on projects that are unavailable at schools due to resource and time limitations. We implemented a one-day module about plant genetic engineering. Plant genetic engineering is a highly relevant issue, particularly with respect to the high growth rates and worldwide expansion during the last decade, making it an excellent issue to address in the outreach laboratory. We chose a specific genetic engineering application, genetically modified (GM) corn, for three reasons: First, previous studies have shown varying results according to the type of application (e.g., plants vs. animals; Frewer & Shepherd, 1995; Hallman, Hebden, Aquino, Cuite, & Lang, 2003; Qin & Brown, 2007). Therefore, we selected

only one specific application in order to obtain meaningful results unaffected by different application types. Second, GM corn is one of the only two plant species that ever have been approved for cultivation in Germany. Therefore, students had the chance to link new knowledge to their everyday lives. And third, this application met the curricular guidelines for our target group. With the GM corn example, the principles and possibilities of genetic engineering as well as the related chances and risks could be addressed in a way appropriate for secondary school. The one-day module included three phases: a theoretical introduction phase, a hands-on experimental phase, and a discussion phase. We started the day with a theoretical phase (60 min) about plant genetic engineering, first updating students' prior knowledge about cellular structures and genetics and then focusing on the techniques and applications of plant genetic engineering, specifically considering the example of GM corn. The subsequent experimental phase (240 min) started with a pre-laboratory phase introducing the workstations and the laboratory equipment. Afterwards, students extracted deoxyribonucleic acid (DNA) from corn seeds (Di Bernardo, Del Gaudio, Galderisi, Cascino, & Cipollaro, 2007) and performed an agarose gel electrophoresis to visualize the DNA. For both experiments, we followed a two-step approach (Scharfenberg & Bogner, 2010) consisting of a minds-on and a hands-on step for each experiment. During the minds-on step, we conducted a short focused discussion about the experimental procedures and the theoretical aspects to clarify the subsequent complex hands-on activities. The students completed the experimental phase by interpreting their results. Following the experimental phase, there was a GM-corn discussion phase about the risks and benefits of GM corn (30 min). In accordance with a previous study concerning students' perceptions with regard to plant genetic engineering (Goldschmidt & Bogner, 2013), we focused the GM-corn discussion on the most relevant risks and benefits that are often addressed in public discussions (e.g., ecological aspects, such as the effects on other species and unpredictable long-term effects, economic aspects for farmers and agribusiness, world hunger, and alternative pest control). The students worked alone by reading a text about the risks and benefits of GM corn and taking individual notes to summarize the most pertinent aspects. Afterwards, some students presented their results to their classmates, and the teacher answered

questions or gave additional information if necessary. To standardize conditions and avoid teacher effects, the educational intervention was implemented by one teacher previously unknown to all students.

[Figure 1 about here]

Dependent Variables

We considered four dependent variables in the current study: students' motivation to learn science, cognitive achievement (i.e., measuring the knowledge increase after the educational intervention), cognitive load (i.e., measuring the mental effort during the educational intervention), and instructional efficiency.

In order to assess students' motivation to learn science, we applied the Science Motivation Questionnaire (SMQ), a 30-item Likert-type scale with five subscales (Glynn, Taasoobshirazi, & Brickman, 2009). We used the subscale "intrinsic motivation and personal relevance" (ten items) since this subscale is the most important one, explaining nearly one third of the total variation and representing one dimension associated with students' motivation to learn science (Glynn, Taasoobshirazi, & Brickman, 2009). However, in 2011, Glynn, Brickman, Armstrong, and Taasoobshirazi revised the first version of the SMQ, modifying the structure of the subscales. But since our data collection was conducted in the spring of 2011, we used the first SMQ version from 2009. Our reliability analysis of the subscale "intrinsic motivation and personal relevance" yielded a Cronbach's alpha value of 0.91. Students responded to the items on a 5-point Likert scale (strongly disagree – strongly agree) before participating in the educational intervention. We calculated sum scores for further analysis of the SMQ data.

According to the definition used by Jarvis (2013), we defined knowledge as cognitive achievement. To assess students' cognitive achievement, we prepared a knowledge questionnaire with 15 items (for item examples, see Table 1). The reliability analysis of the questionnaire yielded a Cronbach's alpha value of 0.79. The content validity of the items from

the knowledge questionnaire was examined by a number of subject-matter experts. We applied a pre-post-follow-up design in our study (see Table 2): The pre-test (T1) was presented one week before the educational intervention, the post-test (T2) immediately after the intervention, and the retention test (T3) six weeks later. Students were unaware of any testing schedules. To control for any effects of the repeated measures design, an additional student group ($n = 116$) completed the questionnaire three times without participating in the educational intervention. As we expected, the analysis revealed no significant effects from the repeated measurement (Friedman's ANOVA: $\chi^2(2) = 2.33, p = 0.312$). We calculated sum scores for the three knowledge measures (T1, T2, and T3). For further analysis, we calculated the difference values between the three knowledge sum scores, yielding the short-term (T2-T1) and the long-term knowledge increase (T3-T1) and the decrease rate (T3-T2).

To assess cognitive load, we followed the method of Paas, Van Merriënboer, and Adam (1994, p. 420; for a review, see Van Gog & Paas, 2008), measuring students' mental effort as "an index of cognitive load". Mental effort is defined as "the aspect of cognitive load that refers to the cognitive capacity that is actually allocated to accommodate the demands imposed by the task; thus, it can be considered to reflect the actual cognitive load" (Paas, Tuovinen, Tabbers, & Van Gerven, 2003, p. 64). For this purpose, we applied a unidimensional nine-point self-rating scale (Paas, Van Merriënboer, & Adam, 1994) where students indicated their actual mental effort during task performance. The scale varied from "1 – very, very low mental effort" to "9 – very, very high mental effort". Students scored their mental effort always after completing the knowledge questionnaire.

The mental effort scale is widely used in cognitive load research (cf., Van Gog & Paas, 2008) and has previously been assessed as being both valid and sensitive (Ayres, 2006). The concurrent validity has been shown by the sensitivity in detecting variations in task complexity (Paas, Van Merriënboer, & Adam, 1994) and intrinsic-load variations during task performance (Ayres, 2006). Considering the reliability of the mental effort scale, several studies have reported high reliability coefficients (Cronbach's alpha) ranging between 0.82 and 0.93 (e.g., Kester, Kirschner, & Van Merriënboer, 2004; Paas & Van Merriënboer, 1994; Paas, Van

Merriënboer, & Adam, 1994). Our reliability analysis of the mental effort scale yielded a Cronbach's alpha value of 0.76. With respect to measuring mental effort, Whelan (2007) pointed to a possible influence of individual differences that might have a significant effect. To overcome these potential differences in the mental effort ratings, we anchored the midpoint of the scale by linking it to the typical effort necessary in biology lessons at school (Franke & Bogner, 2011). For this purpose, we wrote an additional sentence (anchor) under the nine-point rating scale: "The value 5 is equivalent to the mental effort typically spent on normal biology lessons at school."

We calculated the instructional efficiency (E) as the relative efficiency of the educational intervention by combining the short-term knowledge increase (performance) and the mental effort score ($E = (z_{\text{performance}} - z_{\text{mental effort}})/\sqrt{2}$; Paas & Van Merriënboer, 1993). For our gender comparison, we considered two potential effects which Paas, Tuovinen, Tabbers, and Van Gerven (2003) argued were essential when comparing the efficiency: (1) A similar mental effort induces different performance, and (2) a different mental effort leads to similar performance.

[Table 1 about here]

[Table 2 about here]

Sample

Our sample consisted of 197 Bavarian 10th graders (in the final class of vocational secondary school, *Realschule*; Bavarian Ministry of Education, 2013), between 15 and 18 years of age ($M = 16.7$; $SD = 0.7$) from 10 different classes (convenience sampling). The gender was approximately equally distributed ($\chi^2(1) = 0.25$, $p = 0.618$; 51.8% females). Since genetic engineering is a compulsory part of the Bavarian 10th grade curriculum (Bavarian Ministry of Education, 2008), a previous basic knowledge of the applications, risks, and benefits of this

technique was expected. The SMQ was tested in a pilot study with 371 students (10th graders of vocational secondary school; age: $M = 16.7$; $SD = 0.7$; 51.2% females).

Statistics

For our statistical analyses, we used the software SPSS Statistics (Version 20.0.0). To estimate the reliability of the SMQ and knowledge questionnaire we calculated Cronbach's alpha as a coefficient of internal consistency. Factor analysis of the SMQ subscale "intrinsic motivation and personal relevance" was conducted by applying a principal axis factor analysis (Field, 2009) of the ten items. In the case of non-normally distributed data (Lilliefors corrected Kolmogorov-Smirnov test: all $p < 0.05$), we applied nonparametric procedures and performed the correlation analysis by applying Spearman's correlation coefficient. The correlation coefficients were classified according to Bühl (2012), considering values of 0.20 as a very small correlation, 0.50 as a small correlation, 0.70 as a medium correlation, 0.90 as a high correlation, and above 0.90 as a very high correlation. We analyzed the between-group differences by using the Mann-Whitney test and the within-group differences by using a Friedman's ANOVA combined with the Wilcoxon signed rank-test (with Bonferroni correction) for post-hoc comparisons (Field, 2009). For all significant results ($p < 0.05$), the corresponding effect sizes (r) were calculated according to Field (2009), considering values of 0.10 as a small effect, 0.30 as a medium effect, and 0.50 as a large effect (Cohen, 1992). We used a subsample size of $n \geq 28$ in order to detect a large effect size ($r = 0.50$) for all the relevant tests of significance, with a standard α -level of 0.05 and a power of 0.8 (Cohen, 1992).

Results

We first present the data of the pilot study, including the factor analysis of the SMQ subscale "intrinsic motivation and personal relevance". Second, we show the knowledge data and SMQ data related to our educational intervention. We subsequently present the gender-

related results, including cognitive achievement (knowledge) and mental effort and combine both in the analysis of instructional efficiency.

Factor Analysis of the SMQ

We conducted a pilot study ($n = 371$) to test the SMQ. Principal axis factor analysis was conducted on the ten items of the subscale “intrinsic motivation and personal relevance”. The Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) measure verified the sampling adequacy for the analysis (KMO = 0.93; “superb” according to Field, 2009), and all the KMO values for the individual items were above 0.88, which is well above the acceptable limit of 0.5 (Field, 2009). Bartlett’s test of sphericity ($\chi^2(45) = 2011.96, p < 0.001$) indicated that the correlations between items were sufficiently large for principal axis factor analysis. The analysis revealed one factor with an eigenvalue above Kaiser’s criterion of 1, explaining 51.64% of the variance; the scree plot confirmed this result, showing an inflexion that would justify retaining one factor. Therefore, we confirmed the SMQ structure suggested by Glynn, Taasoobshirazi, and Brickman (2009), combining both motivational components (intrinsic motivation and personal relevance) in one factor. Table 3 shows the factor loadings for the ten items.

[Table 3 about here]

SMQ and Knowledge

The SMQ sum scores of the complete sample (*Median* 30.0; 25th/75th *P* 24.0/36.0) leveled in the middle range of the scale. Comparing female and male students with regard to their motivation to learn science, we did not find any gender-related significant difference (see Table 4), both groups were equally motivated.

The analysis of the knowledge scores from the complete sample revealed significant differences between the three measuring points (T1, T2, T3; Friedman's ANOVA: $\chi^2(2) = 292.48, p < 0.001$; post-hoc comparisons using Wilcoxon signed rank-test with Bonferroni correction: all $p < 0.001$, all $r > 0.45$), the students achieved significantly higher knowledge scores in the short term and in the long term, but knowledge decreased significantly between the post-test and the retention test as well (see Figure 2).

Considering the relation between knowledge and motivation (SMQ), our analysis revealed significant correlations between students' SMQ sum scores and the post-test (T2) and retention test (T3) knowledge scores (T2: $r_s = 0.27, p < 0.001$; T3: $r_s = 0.22, p = 0.002$), indicating that more highly motivated students gained more knowledge during the educational intervention.

[Figure 2 about here]

[Table 4 about here]

Gender-related Differences in Knowledge, Mental Effort, and Instructional Efficiency

In order to examine the instructional efficiency, we first calculated the short-term (T2-T1) and long-term (T3-T1) difference values between the three measured knowledge scores and used them for further between-group analyses. Regarding the between-group comparison of female and male students, the short-term increase in knowledge differed significantly ($p = 0.008$), with females showing a greater increase than males (see Table 4 and Figure 3). However, the long-term increase in knowledge was not statistically significantly different, while the decrease rate differed significantly as well (see Table 4 and Figure 3; $p = 0.038$). The results indicate that females gained more knowledge in the short term but forgot more after the educational intervention, thus achieving the same knowledge scores as males in the long term.

With respect to the students' mental effort, the mean scores of females and males did not differ significantly (see Table 4), indicating that cognitive load was equal for both genders. We

calculated the instructional efficiency of the educational intervention for both genders by combining the short-term knowledge increase and the mental effort scores. The between-group comparison revealed a significant difference (see Table 4 and Figure 4): We found a significantly higher instructional efficiency for the female group ($p = 0.019$), while the efficiency of the male group was near the average score ($E = 0$; see Figure 4). In summary, our results suggest that the higher short-term knowledge increase (performance) coupled with the similar mental effort results in a significantly higher instructional efficiency of the female group.

[Figure 3 about here]

[Figure 4 about here]

Discussion

We first reviewed the SMQ within our pilot study: The factor analysis conducted for the subscale "intrinsic motivation and personal relevance" confirmed the SMQ structure suggested by Glynn, Taasobshirazi, and Brickman (2009), integrating both motivational components in one factor. Accordingly, we decided to apply the SMQ in our main study.

Within our main study, the SMQ scores leveled in the middle range of the scale. Interestingly, both genders were equally motivated to learn science. Glynn, Taasobshirazi, and Brickman (2009) found similar results, reporting that the scores of the subscale "intrinsic motivation and personal relevance" did not differ according to gender. However, these findings were not in accordance with the high amount of literature assuming that female students have lower interest in science and tend to be less motivated than male students (Fortus & Vedder-Weiss, 2014; Miller, Slawinski Blessing, & Schwartz, 2006). We suppose that our results are specifically related to the subject biology, since females seem to be most interested in this science subject (Lee & Burkam, 1996; Miller, Slawinski Blessing, & Schwartz, 2006).

Furthermore, we assumed a high interest and motivation for both genders with regard to our project in the outreach laboratory, since this was a new and exciting learning setting for our students. This high interest in our project may have influenced students' responses in the pre-test. In line with this, Glowinski and Bayrhuber (2011) reported that gender had no influence on students' interest in science laboratories.

In terms of students' cognitive achievement, we compared the three measuring points and detected significant differences indicating a short-term knowledge increase and a long-term knowledge increase as well as a decrease after the educational intervention (all with a medium to large effect size), thereby proving the impact of our educational intervention in the outreach laboratory with regard to students' cognitive achievement. Students' achieved a significant knowledge increase in the short term as well as in the long term. This is in line with other studies in the outreach laboratory context (e.g., Glowinski & Bayrhuber, 2011; Scharfenberg & Bogner, 2010). Students' cognitive achievement might have been supported by the student-centered and collaborative learning in groups, the practical laboratory activities, as well as the opportunities for discussion (Osborne, Simon, & Collins, 2003). In line with our findings, Areepattamannil, Freeman, and Klinger (2011) as well as Freedman (1997) concluded that hands-on learning approaches (educational approaches which involve students directly by encouraging them to actively work with the learning materials) increase students' science achievement substantially.

We correlated the SMQ scores with the knowledge scores (post-test and retention test) to examine whether students' cognitive achievement was related to their motivation to learn science. Our results showed that more highly motivated students gained more knowledge during the educational intervention in the outreach lab. This is true for both the short-term as well as the long-term knowledge increase (both small correlations). Since intrinsic motivation in particular is supposed to be important for students' cognitive achievement (Osborne, Simon, & Collins, 2003), these findings are not very surprising. Results from other studies (Areepattamannil, Freeman, & Klinger, 2011; Bryan, Glynn, & Kittleson, 2011; Glynn, Taasobshirazi, & Brickman, 2007) accordingly showed that intrinsically motivated students

were more engaged and perceived science learning as more meaningful, and thus, they achieved more highly. Jurišević, Vrtačnik, Kwiatkowski, and Gros (2012) found that highly motivated students assessed the hands-on approach more positively with respect to their active participation and hence, they gained more knowledge. Therefore, we assume that our educational intervention, especially the hands-on approach, supported the engagement of highly motivated students and fostered their cognitive achievement. All in all, our findings specifically emphasize the importance of students' motivation in terms of their science achievement in the context of outreach laboratories.

Furthermore, we investigated the three variables, cognitive achievement, cognitive load, and instructional efficiency with respect to gender differences. Our results pointed to significant gender differences in the knowledge increase and the instructional efficiency. Female students achieved a greater knowledge increase than males in the short term (small to medium effect); therefore, we assume that our educational intervention especially supported the female students' development of new science knowledge. The cognitive load (mental effort) did not differ between female students and male students indicating that the task difficulty was equal for both genders. But considering the instructional efficiency, the efficiency for the female group was significantly higher than for the male group (small to medium effect). Taking into account the gender differences in cognitive achievement, we assumed that the greater knowledge increase coupled with the similar mental effort resulted in the higher instructional efficiency of the laboratory experience for the female group. We suppose that the active engagement in hands-on laboratory activities was more beneficial for the females than for the males. This is in line with some other studies which pointed to female students benefiting through hands-on laboratory experiences (e.g., Burkam, Lee, & Smerdon, 1997; Lee & Burkam, 1996). Additionally, we suppose that the topic of our educational intervention, plant genetic engineering, was possibly more interesting for female students than for male students. This topic has an everyday-life context potentially leading to the enhancement of female students' interest in science (Lin, Hong, & Huang, 2012). Moreover, plant genetic engineering is associated with the topic nutrition, which is thought to be more interesting for females than for males (Holstermann &

Bögeholz, 2007). The cooperative learning environment could be another potential reason for female students' advantage, since females are supposed to prefer such connected, student-centered, and collaborative learning methods (Meece, Glienke, & Burg, 2006; Miller, Slawinski Blessing, & Schwartz, 2006). Lee and Burkam (1996) argued that female students often feel more confident in cooperative learning environments which do not emphasize social comparisons. All in all, our findings indicated the importance of students' active engagement in the laboratory work both in school contexts and out-of-school contexts in order to overcome gender differences in science education.

Nevertheless, the female students' knowledge decrease after the educational intervention was significantly higher than male students' knowledge decrease (small to medium effect). Female students leveled off in the long-term knowledge like their male counterparts. Consequently, we conclude that female students' higher achievement in the short term was unfortunately not persistent in the long term. We suppose that one potential reason for this issue could be that the content of the outreach laboratory project was not repeated in subsequent biology lessons in school. This points to the importance of adequate preparation before and after such learning projects in an out-of-school setting. This is true for both genders. Nevertheless, females might have maintained their higher achievement if they had been provided with an appropriate follow-up lesson. Additionally, the subsequent classroom setting did not continue the positive aspects of the outreach laboratory learning environment (e.g., practical lab activities, authentic environment). Probably for these reasons, females were not able to maintain the higher achievement.

Conclusion and Implications

Our findings suggested that students' knowledge gain through our educational intervention in the outreach laboratory was substantial both in the short term and in the long term. With respect to students' motivation to learn science, the highly motivated students achieved a greater knowledge increase than less motivated students. Both results were in line with previous studies

pointing to students' learning opportunities in outreach labs (Glowinski & Bayrhuber, 2011; Scharfenberg & Bogner, 2010) and the positive relation between motivation and achievement (Areepattamannil, Freeman, & Klinger, 2011; Jurišević, Vrtačnik, Kwiatkowski, & Gros, 2012). Consequently, these findings specifically emphasize the importance of students' motivation in supporting their cognitive achievement in the context of outreach laboratories. Teachers should therefore stimulate students' motivation prior to the outreach laboratory visit by employing lessons in advance to appropriately introduce the topic and prepare the students for the laboratory project. Teachers could stimulate students' interest and motivation, for instance, by linking the topic to students' everyday lives (e.g., students could search for GM products in the supermarket) or by collecting materials related to the topic (e.g., newspaper articles about the public discourse regarding genetic engineering). Additionally, students could refresh their prior knowledge related to the topic of the laboratory project.

Additionally, our results indicated that the outreach laboratory experience was more beneficial for females than males, since the female group showed a higher cognitive achievement and instructional efficiency. We assumed that females' advantage was due to the collaborative and student-centered learning environment as well as to the high amount of hands-on laboratory activities. Our results were in line with several other studies which pointed to females benefiting from hands-on laboratory experiences (e.g., Burkam, Lee, & Smerdon, 1997; Lee & Burkam, 1996). Therefore, we recommend improving the quality and quantity of laboratory experiences in science education in order to overcome the still present gender gap (Fortus & Vedder-Weiss, 2014). Other studies have called for this increase in hands-on activities as well (e.g., Burkam, Lee, & Smerdon, 1997; Freedman, 1997; Hofstein & Lunetta, 2004). Beside this, our national standards for science education require the enhancement of students' laboratory experiences (Sekretariat der Kultusministerkonferenz [The Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs], 2005) to support students' acquisition of scientific knowledge, science skills, and scientific literacy. In particular, improving the quality of laboratory experiences is concerned with actively involving students from the beginning of the experimental process (formulation of research questions and

hypotheses, design of experimental investigation) to the end (interpretation and evaluation of experimental data). Unfortunately, students often conduct prescribed experiments following a recipe-like instruction without being involved in the process of planning (Etkina, Murthy, & Zou, 2006).

But what could science teachers do to reach these goals? Our recommendations are the following points: (1) support students' active involvement in the science classroom (e.g., student-centered learning activities, active student involvement in the planning and design of experiments, hands-on activities), (2) stimulate students' interest and create a motivating learning environment (e.g., making a connection to students' everyday lives, problems and topics with personal relevance, authentic and situated learning settings, context-oriented learning), and (3) use cooperative rather than competitive learning methods (e.g., group work, jigsaw puzzle).

References

- Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education, 30*(14), 1945-1969.
doi:10.1080/09500690701749305
- Areepattamannil, S., Freeman, J. G., & Klinger, D. A. (2011). Influence of motivation, self-beliefs, and instructional practices on science achievement of adolescents in Canada. *Social Psychology of Education, 14*(2), 233-259. doi:10.1007/s11218-010-9144-9
- Ayres, P. (2006). Using subjective measures to detect variations of intrinsic cognitive load within problems. *Learning and Instruction, 16*(5), 389-400.
doi:10.1016/j.learninstruc.2006.09.001
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science, 255*(5044), 556-559.
doi:10.1126/science.1736359
- Bandura, A. (2001). Social cognitive theory: An agentic perspective. *Annual Review of Psychology, 52*(1), 1-26. doi:10.1146/annurev.psych.52.1.1
- Bavarian Ministry of Education (Ed.). (2008). *Lehrplan für die Realschule [Curriculum for the Realschule]* (2nd ed.). Munich, Germany: Maiss.
- Bavarian Ministry of Education (2013). *Education in Bavaria*. Retrieved October 5, 2013, from <http://www.km.bayern.de/education-in-bavaria.html>
- Bryan, R. R., Glynn, S. M., & Kittleson, J. M. (2011). Motivation, achievement, and advanced placement intent of high school students learning science. *Science Education, 95*(6), 1049-1065. doi:10.1002/sce.20462
- Bühl, A. (2012). *SPSS 20: Einführung in die moderne Datenanalyse [SPSS 20: Introduction to modern data analysis]* (13th ed.). Munich, Germany: Pearson.
- Buntine, M. A., Read, J. R., Barrie, S. C., Bucat, R. B., Crisp, G. T., George, A. V., Jamie, I. M., & Kable, S. H. (2007). Advancing Chemistry by Enhancing Learning in the Laboratory (ACELL): A model for providing professional and personal development and facilitating

- improved student laboratory learning outcomes. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 232-254. doi:10.1039/B6RP90033J
- Burkam, D. T., Lee, V. E., & Smerdon, B. A. (1997). Gender and science learning early in high school: Subject matter and laboratory experiences. *American Educational Research Journal*, 34(2), 297-331. doi:10.3102/00028312034002297
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155–159. doi:10.1037/0033-2909.112.1.155
- Di Bernardo, G., Del Gaudio, S., Galderisi, U., Cascino, A., & Cipollaro, M. (2007). Comparative evaluation of different DNA extraction procedures from food samples. *Biotechnology Progress*, 23(2), 297–301. doi:10.1021/bp060182m
- Etkina, E., Murthy, S., & Zou, X. (2006). Using introductory labs to engage students in experimental design. *American Journal of Physics*, 74(11), 979-986. doi:10.1119/1.2238885
- Falk, J. H., & Dierking, L. D. (2000). *Learning from museums: Visitor experiences and the making of meaning*. Walnut Creek, CA: AltaMira Press.
- Feinstein, N. (2011). Salvaging science literacy. *Science Education*, 95(1), 168-185. doi:10.1002/sce.20414
- Field, A. P. (2009). *Discovering statistics using SPSS: (and sex and drugs and rock'n'roll)* (3rd ed.). Los Angeles, CA: Sage.
- Fortus, D., & Vedder-Weiss, D. (2014). Measuring students' continuing motivation for science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(4), 497-522. doi:10.1002/tea.21136
- Franke, G., & Bogner, F. X. (2011). Cognitive influences of students' alternative conceptions within a hands-on gene technology module. *The Journal of Educational Research*, 104(3), 158-170. doi:10.1080/00220671003636745
- Freedman, M. P. (1997). Relationship among laboratory instruction, attitude toward science, and achievement in science knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(4), 343-357. doi:10.1002/(SICI)1098-2736(199704)34:4<343::AID-TEA5>3.0.CO;2-R

- Frewer, L. J., & Shepherd, R. (1995). Ethical concerns and risk perceptions associated with different applications of genetic engineering: Interrelationships with the perceived need for regulation of the technology. *Agriculture and Human Values*, *12*(1), 48-57.
doi:10.1007/BF02218074
- Glowinski, I., & Bayrhuber, H. (2011). Student labs on a university campus as a type of out-of-school learning environment: Assessing the potential to promote students' interest in science. *International Journal of Environmental and Science Education*, *6*(4), (371-392).
- Glynn, S. M., Brickman, P., Armstrong, N., & Taasoobshirazi, G. (2011). Science motivation questionnaire II: Validation with science majors and nonscience majors. *Journal of Research in Science Teaching*, *48*(10), 1159-1176. doi:10.1002/tea.20442
- Glynn, S. M., Taasoobshirazi, G., & Brickman, P. (2007). Nonscience majors learning science: A theoretical model of motivation. *Journal of Research in Science Teaching*, *44*(8), 1088-1107. doi:10.1002/tea.20181
- Glynn, S. M., Taasoobshirazi, G., & Brickman, P. (2009). Science motivation questionnaire: Construct validation with nonscience majors. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*(2), 127-146. doi:10.1002/tea.20267
- Goldschmidt, M., & Bogner, F. X. (2013). Associations with plant genetic engineering: A perception analysis of students' hopes and fears. *Studies in Agricultural Economics*, *115*(3), 143-149. doi:10.7896/j.1314
- Hallman, W. K., Hebden, W. C., Aquino, H. L., Cuite, C. L., & Lang, J.T. (2003). *Public perceptions of genetically modified foods - national study of American knowledge and opinion*. New Brunswick, NJ: Food Policy Institute, Cook College, Rutgers University.
- Hodson, D. (1991). Practical work in science: Time for a reappraisal. *Studies in Science Education*, *19*(1), 175-184. doi:10.1080/03057269108559998
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, *52*(2), 201-217.
doi:10.3102/00346543052002201

- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54. doi:10.1002/sce.10106
- Hofstein, A., & Mamlok-Naaman, R. (2007). The laboratory in science education: The state of the art. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 105-107. doi:10.1039/B7RP90003A
- Holstermann, N., & Bögeholz, S. (2007). Interesse von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I [Gender-specific interests of adolescent learners in science topics]. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 71-86.
- Jarvis, B. (2013). Knowledge, cognitive achievement, and environmental luck. *Pacific Philosophical Quarterly*, 94(4), 529-551. doi:10.1111/papq.12012
- Jurišević, M., Vrtačnik, M., Kwiatkowski, M., & Gros, N. (2012). The interplay of students' motivational orientations, their chemistry achievements and their perception of learning within the hands-on approach to visible spectrometry. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(3), 237-247. doi:10.1039/c2rp20004j
- Kahle, J. B., Parker, L. H., Rennie, L. J., & Riley, D. (1993). Gender differences in science education: Building a model. *Educational Psychologist*, 28(4), 379-404. doi:10.1207/s15326985ep2804_6
- Kester, L., Kirschner, P. A., & Van Merriënboer, J. J. G. (2004). Timing of information presentation in learning statistics. *Instructional Science*, 32(3), 233-252. doi:10.1023/B:TRUC.0000024191.27560.e3
- Lee, V. E., & Burkam, D. T. (1996). Gender differences in middle grade science achievement: Subject domain, ability level, and course emphasis. *Science Education*, 80(6), 613-650. doi:10.1002/(SICI)1098-237X(199611)80:6<613::AID-SCE1>3.0.CO;2-M
- Lin, H. S., Hong, Z. R., & Huang, T. C. (2012). The role of emotional factors in building public scientific literacy and engagement with science. *International Journal of Science Education*, 34(1), 25-42. doi:10.1080/09500693.2010.551430

- Lord, T. R. (2001). 101 reasons for using cooperative learning in biology teaching. *The American Biology Teacher*, 63(1), 30-38. doi:10.1662/0002-7685(2001)063[0030:RFUCLI]2.0.CO;2
- Meece, J. L., Glienke, B. B., & Burg, S. (2006). Gender and motivation. *Journal of School Psychology*, 44(5), 351-373. doi:10.1016/j.jsp.2006.04.004
- Merrill, M. D. (2002). First principles of instruction. *Educational Technology Research and Development*, 50(3), 43-59. doi:10.1007/BF02505024
- Miller, P. H., Slawinski Blessing, J., & Schwartz, S. (2006). Gender differences in high-school students' views about science. *International Journal of Science Education*, 28(4), 363-381. doi:10.1080/09500690500277664
- Organization for Economic Cooperation and Development [OECD] (2007). *PISA 2006. Science competencies for tomorrow's world. Volume I: Analysis*. Paris: OECD.
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049-1079. doi:10.1080/0950069032000032199
- Paas, F. G. W. C., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63-71. doi:10.1207/S15326985EP3801_8
- Paas, F. G. W. C., Tuovinen, J. E., Van Merriënboer, J. J. G., & Darabi, A. A. (2005). A motivational perspective on the relation between mental effort and performance: Optimizing learner involvement in instruction. *Educational Technology Research and Development*, 53(3), 25-34. doi:10.1007/BF02504795
- Paas, F. G. W. C., & Van Merriënboer, J. J. G. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 35(4), 737-743. doi:10.1177/001872089303500412

- Paas, F. G. W. C., & 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*(1), 122-133. doi:10.1037/0022-0663.86.1.122
- Paas, F. G. W. C., Van Merriënboer, J. J. G., & Adam, J. (1994). Measurement of cognitive load in instructional research. *Perceptual and Motor Skills, 79*, 419–430. doi:10.2466/pms.1994.79.1.419
- Pajares, F. (1996). Self-efficacy beliefs in academic settings. *Review of Educational Research, 66*(4), 543-578. doi:10.3102/00346543066004543
- Qin, W., & Brown, J. L. (2007). Public reactions to information about genetically engineered foods: Effects of information formats and male/female differences. *Public Understanding of Science, 16*(4), 471-488. doi:10.1177/0963662506065336
- Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/science literacy. In S. Abell, & N. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 729-780). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Scharfenberg, F. J., & Bogner, F. X. (2010). Instructional efficiency of changing cognitive load in an out-of-school laboratory. *International Journal of Science Education, 32*(6), 829–844. doi:10.1080/09500690902948862
- Schellens, T., & Valcke, M. (2005). Collaborative learning in asynchronous discussion groups: What about the impact on cognitive processing?. *Computers in Human Behavior, 21*(6), 957-975. doi:10.1016/j.chb.2004.02.025
- Sekretariat der Kultusministerkonferenz [Office of the Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs in the Federal Republic of Germany] (2005). *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz – Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Bildungsabschluss [Resolution of the Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs of the Länder in the Federal Republic of Germany – Standards of biology education for secondary school]*. Munich, Germany: Luchterhand.

- Smith, J. L., Deemer, E. D., Thoman, D. B., & Zazworsky, L. (2014). Motivation under the microscope: Understanding undergraduate science students' multiple motivations for research. *Motivation and Emotion*, 38(4), 496-512. doi:10.1007/s11031-013-9388-8
- Sweller, J. (2006). How the human cognitive system deals with complexity. In J. Elen & R. Clark (Eds.), *Handling complexity in learning environments: Theory and research* (pp. 13-25). Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
doi:10.1023/A:1022193728205
- Tobin, K. (1990). Research on science laboratory activities: In pursuit of better questions and answers to improve learning. *School Science and Mathematics*, 90(5), 403-418.
doi:10.1111/j.1949-8594.1990.tb17229.x
- Tuan, H. L., Chin, C. C., & Shieh, S. H. (2005). The development of a questionnaire to measure students' motivation towards science learning. *International Journal of Science Education*, 27(6), 639-654. doi:10.1080/0950069042000323737
- UK Department for Education (Ed.). (2013). *National curriculum in England: science programmes of study*. Retrieved January 7, 2015, from <https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study>
- Urdan, T. C., & Maehr, M. L. (1995). Beyond a two-goal theory of motivation and achievement: A case for social goals. *Review of Educational Research*, 65(3), 213-243.
doi:10.3102/00346543065003213
- Van Gog, T., & Paas, F. G. W. C. (2008). Instructional efficiency: Revisiting the original construct in educational research. *Educational Psychologist*, 43(1), 16-26.
doi:10.1080/00461520701756248

Van Merriënboer, J. J. G., & Ayres, P. (2005). Research on cognitive load theory and its design implications for e-learning. *Educational Technology Research and Development*, 53(3), 5-13. doi:10.1007/BF02504793

Whelan, R. R. (2007). Neuroimaging of cognitive load in instructional multimedia. *Educational Research Review*, 2(1), 1–12. doi:10.1016/j.edurev.2006.11.001

Table 1. Item examples of the knowledge questionnaire

Item	Item difficulty ^a
1 DNA consists of (a) a phosphate group, protein, and sugar. (b) a base, a phosphate group, and protein. (c) a base, lipids, and sugar. (d) a phosphate group, a base, and sugar [correct].	72.4
2 European corn borer caterpillars (<i>Ostrinia nubilalis</i>) (a) damage the roots of corn plants from outside. (b) release substances which are toxic for corn plants. (c) attack greenflies on the corn leaves. (d) damage the stalks of corn plants by chewing tunnels [correct].	29.5
3 Plasmids are found (a) arranged in pairs in bacterial cells. (b) in the cytoplasm of bacterial cells [correct]. (c) absolutely in every bacterial cell. (d) in the nucleus of bacterial cells.	52.2

^aItem difficulty: Percentage of correct answers.

Table 2. Quasi-experimental design of the study

	Measure of dependent variables
Pre-test (T1)	SMQ, knowledge
One-week delay	
Educational intervention	
Post-test (T2)	Knowledge, mental effort
Six-week delay	
Retention test (T3)	Knowledge

Table 3. Summary of the principal axis factor analysis results for the subscale “intrinsic motivation and personal relevance” of the SMQ (Glynn, Taasobshirazi, & Brickman, 2009; $n = 371$)

Item	Factor loadings
I enjoy learning science.	0.80
I find learning science interesting.	0.78
The science I learn relates to my personal goals.	0.77
I think about how I will use the science I learn.	0.75
I like science that challenges me.	0.74
I think about how the science I learn will be helpful to me.	0.71
The science I learn is relevant to my life.	0.70
The science I learn has practical value for me.	0.70
Understanding science gives me a sense of accomplishment.	0.63
The science I learn is more important to me than the grade I receive.	0.58
Eigenvalue	5.17
% of variance	51.64

Table 4. Dependent variables (SMQ, knowledge, mental effort, instructional efficiency) as a function of gender ($n = 197$)

Dependent variable	Gender			
	Female ($n = 102$)		Male ($n = 95$)	
	<i>Median</i>	(25th/75th <i>P</i>)	<i>Median</i>	(25th/75th <i>P</i>)
SMQ ^a	31.0	(25.8 / 36.0)	30.0	(21.0 / 35.0)
Knowledge ^b				
Pre-test (T1) ^c	5.0	(3.0 / 7.0)	6.0	(4.0 / 7.0)
Post-test (T2) ^d	12.0	(10.8 / 13.0)	11.0	(10.0 / 13.0)
Retention test (T3) ^e	10.0	(8.0 / 11.0)	9.0	(8.0 / 11.0)
Short-term (T2-T1) ^f	6.0	(4.0 / 8.0)	5.0	(3.0 / 7.0)
Long-term (T3-T1) ^g	4.5	(2.0 / 6.0)	4.0	(2.0 / 5.0)
Decrease rate (T2-T3) ^h	2.0	(1.0 / 3.3)	1.0	(0.0 / 3.0)
Mental effort ⁱ	5.0	(3.0 / 5.0)	5.0	(3.0 / 6.0)
Instructional efficiency ^k	0.41	(-0.22 / 1.03)	0.19	(-0.63 / 0.82)

^a n.s.^b Maximal score 15^c n.s.^d Significance, MWU: $U = 3997.00$, $z = -2.15$, $p = 0.032$, $r = -0.15$ ^e n.s.^f High significance, MWU: $U = 3782.50$, $z = -2.67$, $p = 0.008$, $r = -0.19$ ^g n.s.^h Significance, MWU: $U = 4024.50$, $z = -2.07$, $p = 0.038$, $r = -0.15$ ⁱ n.s.^k Significance, MWU: $U = 3911.00$, $z = -2.34$, $p = 0.019$, $r = -0.17$

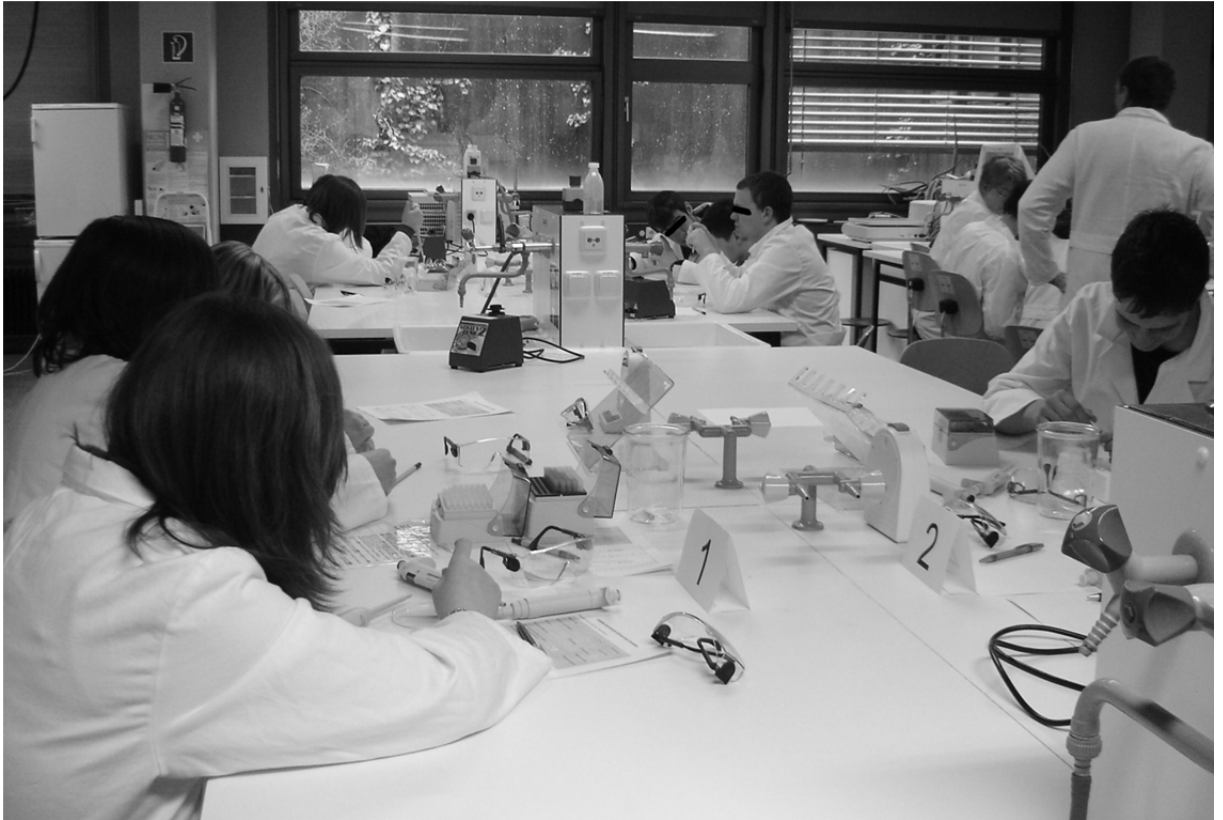


Figure 1. Photo of the outreach laboratory setting.

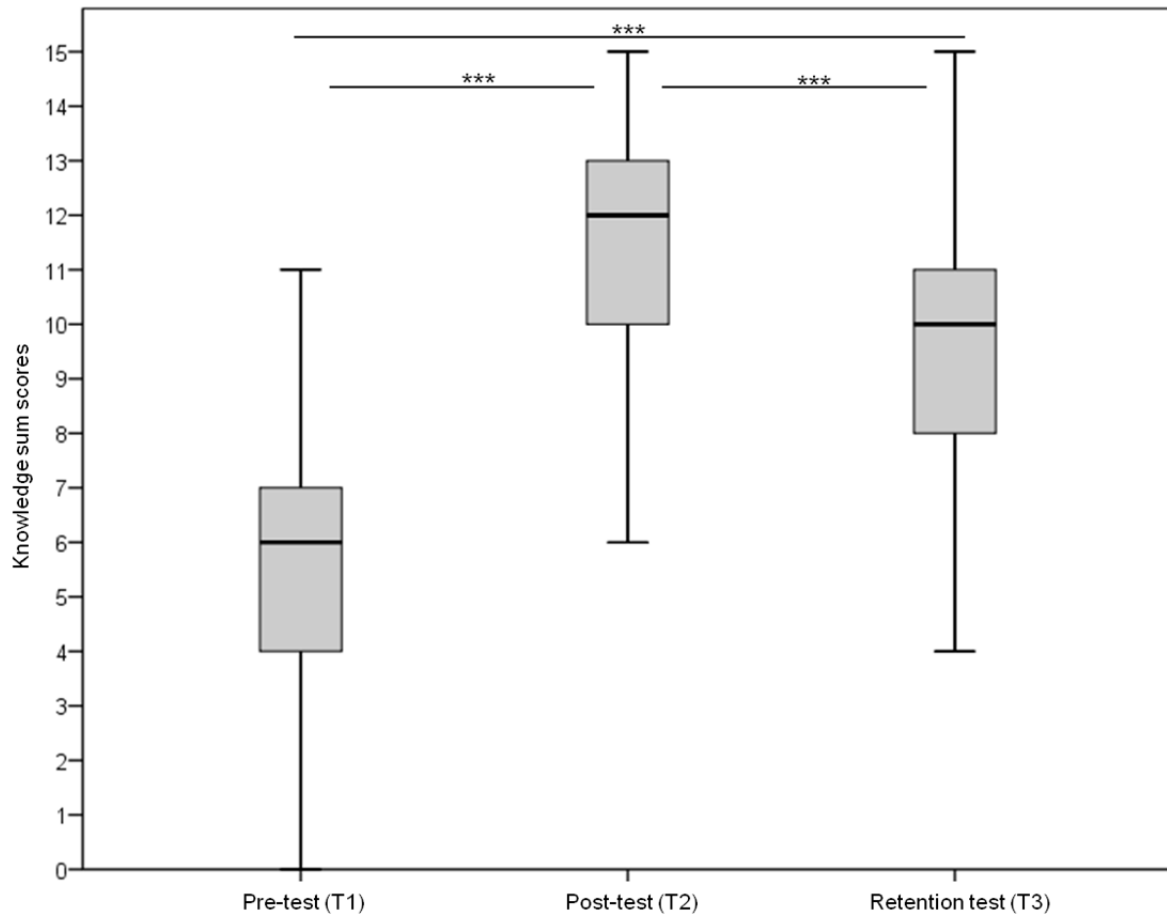


Figure 2. Within-group comparison of students' knowledge sum scores in the pre- (T1), post- (T2), and retention test (T3). The sum scores differed significantly (Friedman's ANOVA: $\chi^2(2) = 292.48, p < 0.001$; post-hoc comparisons using Wilcoxon signed rank-test with Bonferroni correction: all $p < 0.001$, all $r > 0.45$).

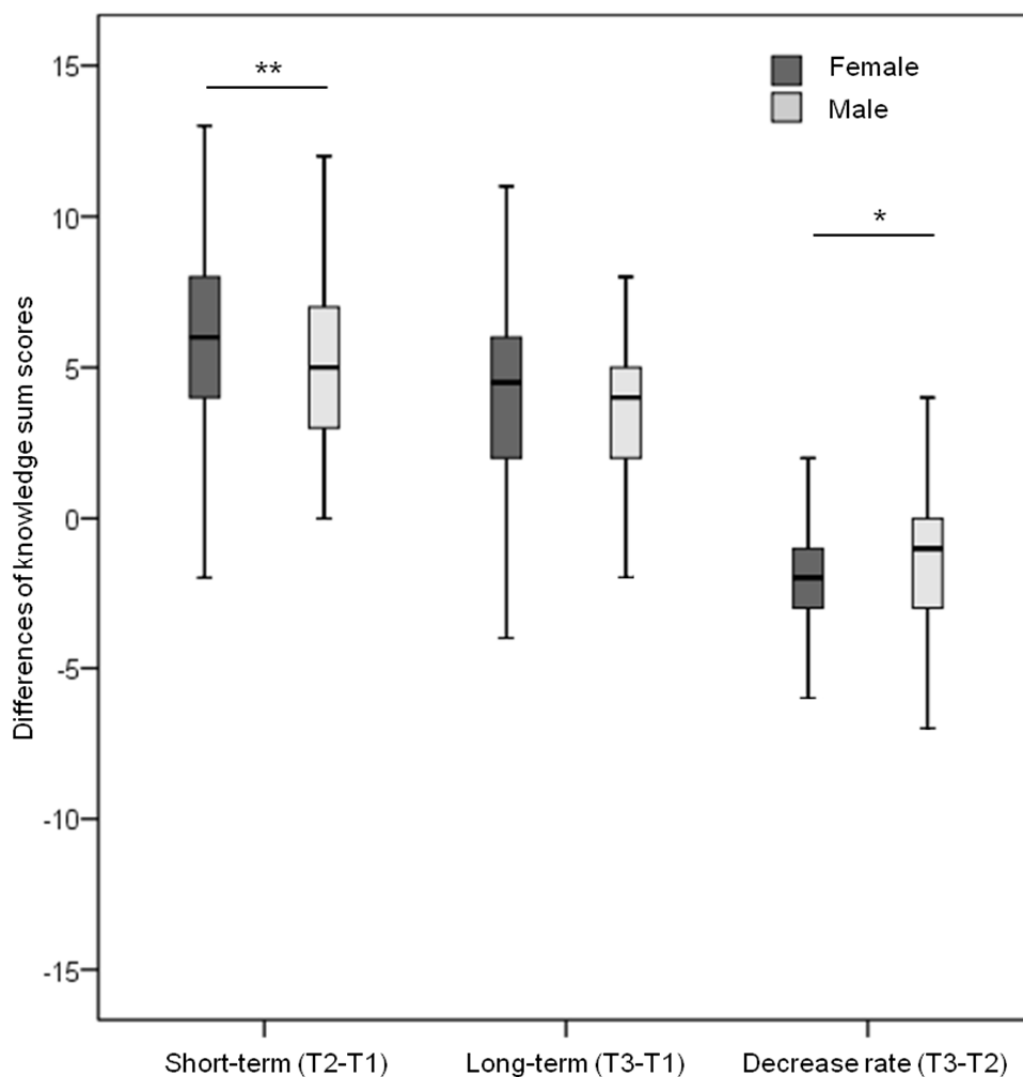


Figure 3. Between-group comparison of the short-term (T2-T1) and the long-term (T3-T1) increase in students' knowledge after the educational intervention and the decrease rate (T3-T2) between female and male students ($n = 197$). Female and male students differed significantly in the short-term knowledge increase (MWU: $U = 3782.50$, $z = -2.67$, $p = 0.008$, $r = -0.19$) and in the decrease rate (MWU: $U = 4024.50$, $z = -2.07$, $p = 0.038$, $r = -0.15$).

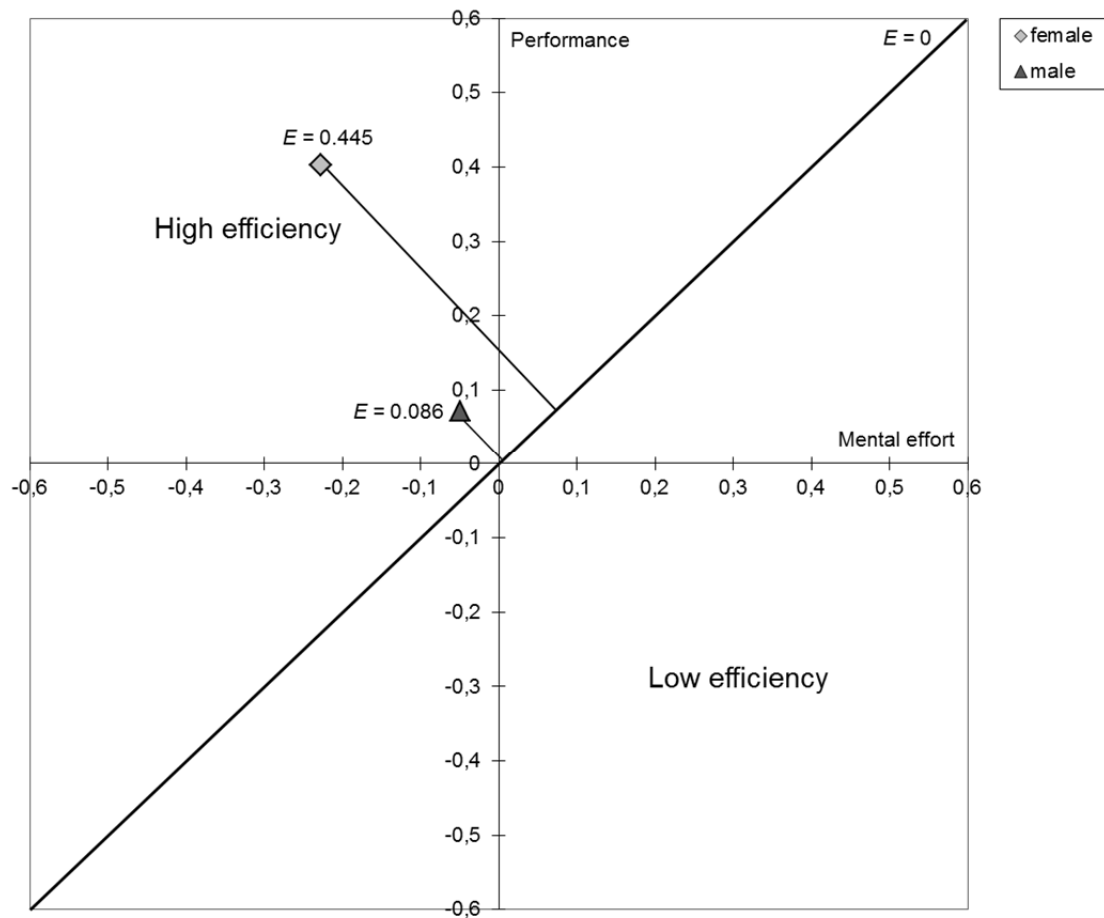


Figure 4. Between-group comparison between female and male students ($n = 197$) of the instructional efficiency ($E = (z_{\text{performance}} - z_{\text{mental effort}})/\sqrt{2}$; Paas & Van Merriënboer, 1993) of the educational intervention. The better performance of the female students combined with the similar effort results in the significantly higher instructional efficiency (MWU: $U = 3911.00$, $z = -2.34$, $p = 0.019$, $r = -0.17$).

F. Anhang

Hinweis: Aus urheberrechtlichen Gründen wurden die Illustrationen der Unterrichtsmaterialien für die Publikation in dieser Dissertationsschrift teilweise entfernt und durch Platzhalter ersetzt. Inhaltlich wurden keinerlei Veränderungen vorgenommen.

Fragebögen

Titelseite mit Code



Lehrstuhl Didaktik der Biologie

Liebe(r) Schüler(in),

dieser Fragebogen ist Teil einer wissenschaftlichen Untersuchung. Deshalb wird der ausgefüllte Fragebogen am Ende eingesammelt, **Ihre Leistungen werden dabei aber in keiner Weise bewertet.**

Bitte bearbeiten Sie den Test allein und beantworten Sie **alle** Fragen sorgfältig und wahrheitsgemäß!

Die Daten werden streng vertraulich behandelt, deshalb wird für Sie zu Beginn ein Code erstellt, der auf allen Fragebögen angegeben werden muss.

Vielen Dank, dass Sie an dieser Befragung teilnehmen!

Bitte geben Sie für den Code Folgendes an:

Heute ist der ...	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	(tt.mm.jjjj)
Sie sind in der Klasse ...	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	(z.B. 10 A)
Sie sind ...	<input type="radio"/> weiblich <input type="radio"/> männlich	
Sie sind geboren im ...	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	(Monat & Jahr)
Der Vorname Ihrer Mutter beginnt mit den beiden Buchstaben ...	<input type="text"/> <input type="text"/>	Beispiel: <u>S</u> abine
Ihre Hausnummer lautet	

Wissensfragen

Kreuzen Sie bitte bei den folgenden Fragen zu Ihrem Wissen jeweils nur 1 Antwort an. Falls Sie die Antwort nicht kennen, kreuzen Sie bitte keine Antwort an!

<p>Tierische Zellen besitzen im Vergleich zu Pflanzenzellen...</p> <p><input type="checkbox"/> keine Plasmamembran.</p> <p><input type="checkbox"/> keinen Zellkern.</p> <p><input type="checkbox"/> keine Zellwand.</p> <p><input type="checkbox"/> kein Zellplasma.</p>	<p>Der Maiszünsler...</p> <p><input type="checkbox"/> ist ein kleiner Schmetterling.</p> <p><input type="checkbox"/> kommt nur in Deutschland vor.</p> <p><input type="checkbox"/> lebt im Boden.</p> <p><input type="checkbox"/> kann nicht fliegen.</p>
<p>Restriktionsenzyme...</p> <p><input type="checkbox"/> schneiden Eiweiße.</p> <p><input type="checkbox"/> verbinden Eiweiße.</p> <p><input type="checkbox"/> schneiden DNS-Moleküle.</p> <p><input type="checkbox"/> verbinden DNS-Moleküle.</p>	<p>Die DNS ist in wässriger Lösung...</p> <p><input type="checkbox"/> neutral.</p> <p><input type="checkbox"/> negativ geladen.</p> <p><input type="checkbox"/> positiv geladen.</p> <p><input type="checkbox"/> überhaupt nicht geladen.</p>
<p>Mit Hilfe von Zentrifugen können Stoffgemische...</p> <p><input type="checkbox"/> aufgetrennt werden.</p> <p><input type="checkbox"/> hergestellt werden.</p> <p><input type="checkbox"/> eingefroren werden.</p> <p><input type="checkbox"/> erhitzt werden.</p>	<p>Durch Zucht kann man...</p> <p><input type="checkbox"/> Eigenschaften völlig artfremder Organismen kombinieren.</p> <p><input type="checkbox"/> Eigenschaften von Bakterien in Pflanzen einkreuzen.</p> <p><input type="checkbox"/> künstliche DNS in lebende Organismen einbringen.</p> <p><input type="checkbox"/> gewünschte Eigenschaften verstärken und ungewünschte unterdrücken.</p>
<p>GVO bedeutet...</p> <p><input type="checkbox"/> Genetik veränderter Organismen.</p> <p><input type="checkbox"/> Gentechnisch veränderte Organismen.</p> <p><input type="checkbox"/> Gentechnik von Organismen.</p> <p><input type="checkbox"/> Gentechnisch veränderte Objekte.</p>	<p>Was stimmt nicht? Der Bt-Giftstoff...</p> <p><input type="checkbox"/> wird vom Bakterium <i>Bacillus thuringiensis</i> gebildet.</p> <p><input type="checkbox"/> wird vom Bt-Mais gebildet.</p> <p><input type="checkbox"/> führt zum Absterben der Maispflanze.</p> <p><input type="checkbox"/> wirkt tödlich auf die Maiszünsler-Larve.</p>

Negativkontrollen...
<input type="checkbox"/> benötigt man zur Absicherung von Versuchsergebnissen.
<input type="checkbox"/> sind immer negativ.
<input type="checkbox"/> werden nur noch selten bei Experimenten mitgeführt.
<input type="checkbox"/> sind immer positiv.

DNS besteht aus...
<input type="checkbox"/> Phosphatgruppen, Eiweiß und Zucker.
<input type="checkbox"/> Basen, Phosphatgruppen und Eiweiß.
<input type="checkbox"/> Basen, Fetten und Zucker.
<input type="checkbox"/> Phosphatgruppen, Basen und Zucker.

Die Maiszünsler-Larven...
<input type="checkbox"/> fressen die Wurzeln der Maispflanzen an.
<input type="checkbox"/> scheiden ein für die Maispflanzen schädliches Gift aus.
<input type="checkbox"/> fressen die Blattläuse von den Maispflanzen.
<input type="checkbox"/> bohren sich in die Stängel oder Kolben der Maispflanzen.

Was stimmt nicht? Gene...
<input type="checkbox"/> findet man nur in Pflanzen- und Tierzellen.
<input type="checkbox"/> tragen die Erbinformation.
<input type="checkbox"/> werden bei der Fortpflanzung an die Nachkommen weiter gegeben.
<input type="checkbox"/> sind Abschnitte auf der DNS.

Was stimmt nicht? Die beiden DNS-Stränge...
<input type="checkbox"/> beinhalten die biologische Erbinformation.
<input type="checkbox"/> sind identisch.
<input type="checkbox"/> sind über Wasserstoffbrückenbindungen gebunden.
<input type="checkbox"/> sind komplementär.

Gentechnisch veränderte Lebensmittel...
<input type="checkbox"/> sind in Deutschland verboten.
<input type="checkbox"/> müssen in Deutschland gekennzeichnet werden.
<input type="checkbox"/> darf man in Deutschland nicht verkaufen.
<input type="checkbox"/> darf man nicht mit ins Ausland nehmen.

Was stimmt nicht? Bakterienzellen...
<input type="checkbox"/> sind kleiner als Pflanzenzellen.
<input type="checkbox"/> besitzen meist eine Zellwand.
<input type="checkbox"/> besitzen häufig eine Geißel.
<input type="checkbox"/> besitzen einen kleinen Zellkern.

Warum kann die Gentechnik über Artgrenzen hinweg angewandt werden?
<input type="checkbox"/> Weil fast alle Organismen denselben genetischen Code benutzen.
<input type="checkbox"/> Weil man fast alle Organismen miteinander kreuzen und fortpflanzen kann.
<input type="checkbox"/> Weil alle Organismen gleiche Eigenschaften und die gleiche DNS haben.
<input type="checkbox"/> Weil sich alle Organismen auf die gleiche Weise fortpflanzen.

Der gesetzlich vorgeschriebene Mindestabstand von Feldern, auf denen Bt-Mais angebaut wird, zu Feldern mit normalem Mais beträgt...

15 Meter.

150 Meter.

1500 Meter.

15 Kilometer.

Plasmide liegen...

immer als Paar in der Bakterienzelle vor.

frei im Zellplasma der Bakterienzelle vor.

grundsätzlich in jeder Bakterienzelle vor.

im Zellkern der Bakterienzelle vor.

Ein positiv geladenes Teilchen wandert in einem elektrischen Feld...

zum positiven Pol.

zum negativen Pol.

überhaupt nicht.

zwischen beiden Polen hin und her.

Wie schätzen Sie sich ein?

Wie hoch war Ihre geistige Anstrengung während der Beantwortung der Wissensfragen?

1 = sehr, sehr gering (sehr einfach) bis **9** = sehr, sehr hoch (sehr schwer)

5 = genau so anstrengend, wie Fragen im üblichen Biologieunterricht

Meine geistige Anstrengung war während...	1	2	3	4	5	6	7	8	9
...der Beantwortung der Fragen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Hoffnungen und Ängste gegenüber Grüner Gentechnik

Was denken Sie über die Entwicklungen der Grünen Gentechnik. Kreuzen Sie bitte an, was am ehesten zutrifft und beschreiben Sie gegebenenfalls genauer!

Ich verbinde mit den Entwicklungen der Grünen Gentechnik...	sehr große Hoffnungen <input type="checkbox"/>	große Hoffnungen <input type="checkbox"/>	etwas Hoffnungen <input type="checkbox"/>	keine Hoffnungen <input type="checkbox"/>
Wenn Sie Hoffnungen mit der Grünen Gentechnik verbinden, schreiben Sie bitte 1 Satz zur genaueren Erklärung.				
Ich verbinde mit den Entwicklungen der Grünen Gentechnik...	sehr große Angst <input type="checkbox"/>	große Angst <input type="checkbox"/>	etwas Angst <input type="checkbox"/>	keine Angst <input type="checkbox"/>
Wenn Sie Angst mit der Grünen Gentechnik verbinden, schreiben Sie bitte 1 Satz zur genaueren Erklärung.				

Informiertheit

Wie gut bzw. schlecht fühlen Sie sich zum Thema Grüne Gentechnik informiert?	gut <input type="checkbox"/>	mäßig <input type="checkbox"/>	schlecht <input type="checkbox"/>
------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------

Schülervorstellungen zu den Aufgaben eines Landwirtes

Hier ist **Ihre Vorstellung** gefragt! Antworten Sie ganz spontan!

Was sind die wichtigsten Aufgaben der Landwirte (2 Angaben)?

Soziodemographische Daten

Haben deine Eltern und/oder Großeltern einen Bauernhof?
 ja nein

Wie oft bist du durchschnittlich auf einem Bauernhof?
 täglich mehrmals die Woche selten (z.B. Ferien) nie

Wenn du schon mal auf einen Bauernhof warst, was war der Grund des Bauernhofbesuches?
 Ferien Besichtigung/Führung Freunde/Familie

Sonstiges: _____

Geistige Anstrengung

Wie hoch war Ihre geistige Anstrengung während des Vortrags?

1 = sehr, sehr gering (sehr einfach) bis 9 = sehr, sehr hoch (sehr schwer)
 5 = genau so anstrengend, wie im üblichen Biologieunterricht

Meine geistige Anstrengung war während...	1	2	3	4	5	6	7	8	9
... dem Vortrag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie hoch war Ihre geistige Anstrengung während der Vorbereitung zum Experimentieren?

1 = sehr, sehr gering (sehr einfach) bis 9 = sehr, sehr hoch (sehr schwer)
 5 = genau so anstrengend, wie im üblichen Biologieunterricht

Meine geistige Anstrengung war während...	1	2	3	4	5	6	7	8	9
... der Vorbereitung zum Experimentieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie hoch war Ihre geistige Anstrengung während des Experimentierens?

1 = sehr, sehr gering (sehr einfach) bis 9 = sehr, sehr hoch (sehr schwer)
 5 = genau so anstrengend, wie im üblichen Biologieunterricht

Meine geistige Anstrengung war während...	1	2	3	4	5	6	7	8	9
... dem Experimentieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie hoch war Ihre geistige Anstrengung während der Auswertung?

1 = sehr, sehr gering (sehr einfach) bis **9** = sehr, sehr hoch (sehr schwer)

5 = genau so anstrengend, wie im üblichen Biologieunterricht

Meine geistige Anstrengung war während...	1	2	3	4	5	6	7	8	9
...der Auswertung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie hoch war Ihre geistige Anstrengung während der Diskussionsvorbereitung?

1 = sehr, sehr gering (sehr einfach) bis **9** = sehr, sehr hoch (sehr schwer)

5 = genau so anstrengend, wie im üblichen Biologieunterricht

Meine geistige Anstrengung war während...	1	2	3	4	5	6	7	8	9
...der Diskussionsvorbereitung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie hoch war Ihre geistige Anstrengung während der Diskussion?

1 = sehr, sehr gering (sehr einfach) bis **9** = sehr, sehr hoch (sehr schwer)

5 = genau so anstrengend, wie im üblichen Biologieunterricht

Meine geistige Anstrengung war während...	1	2	3	4	5	6	7	8	9
...der Diskussion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie hoch war Ihre geistige Anstrengung im Durchschnitt über den gesamten Projekttag?

1 = sehr, sehr gering (sehr einfach) bis **9** = sehr, sehr hoch (sehr schwer)

5 = genau so anstrengend, wie im üblichen Biologieunterricht

Meine geistige Anstrengung war während...	1	2	3	4	5	6	7	8	9
...der Diskussion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Versuchsanleitung

VersuchsanleitungUNIVERSITÄT
BAYREUTH

Bitte lesen Sie zunächst die gesamte Versuchsanleitung durch!

Tragen Sie während des Experimentierens Handschuhe und gehen Sie vorsichtig mit den Reagenzien und den Arbeitsgeräten um!

- | | |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <ul style="list-style-type: none"> 1. Zerstampfen Sie das Maiskorn mit Hilfe des kleinen Pistills im weißen Reaktionsgefäß. |
| | <ul style="list-style-type: none"> 2. Überführen Sie eine Zahnstocherspitze des zermörserten Maisbreis in das grüne Reaktionsgefäß. Geben Sie 300 µl des Zelllösungs-Reagenzes (rotes Reaktionsgefäß) hinzu und mixen Sie das Gemisch im verschlossenen grünen Reaktionsgefäß mit Hilfe des Vortex-Gerätes (15 Sekunden). |
| | <ul style="list-style-type: none"> 3. Beschriften Sie das grüne Reaktionsgefäß mit Ihrer Gruppennummer und stellen Sie es für 3 Minuten in das Wasserbad (65°C). Nehmen Sie es heraus, mixen Sie es mit Hilfe des Vortex-Gerätes (5 Sekunden) und stellen Sie es für weitere 3 Minuten zurück in das Wasserbad. Nehmen Sie es danach wieder heraus, mixen Sie es (5 Sekunden) und stellen Sie es nochmals 4 Minuten in das Wasserbad. Mixen Sie es anschließend noch einmal (5 Sekunden). |
| | <ul style="list-style-type: none"> 4. Stellen Sie das grüne Reaktionsgefäß anschließend für 3 Minuten in die Eis-Kiste. |
| | <ul style="list-style-type: none"> 5. Geben Sie 150 µl des P-Reagenzes (blaues Reaktionsgefäß) in das grüne Reaktionsgefäß und mixen Sie es (10 Sekunden). |
| | <ul style="list-style-type: none"> 6. Zentrifugieren Sie das grüne Reaktionsgefäß für 7 Minuten und nehmen Sie es danach sehr vorsichtig aus der Zentrifuge. |
| | <ul style="list-style-type: none"> 7. Nehmen Sie 300 µl der überstehenden Flüssigkeit vorsichtig aus dem grünen Reaktionsgefäß ab und überführen Sie sie in das gelbe Reaktionsgefäß. Werfen Sie das grüne Reaktionsgefäß weg. |
| | <ul style="list-style-type: none"> 8. Geben Sie 500 µl Isopropanol (Reaktionsgefäß IP) zur Flüssigkeit im gelben Reaktionsgefäß und kippen Sie das verschlossene gelbe Reaktionsgefäß anschließend 35-mal hin und her. → Achtung: DNA wird sichtbar! |
| | <ul style="list-style-type: none"> 9. Beschriften Sie das gelbe Reaktionsgefäß mit ihrer Gruppennummer und zentrifugieren Sie es für 9 Minuten. Nehmen Sie es anschließend sehr vorsichtig aus der Zentrifuge. |
| | <ul style="list-style-type: none"> 10. Entnehmen Sie mit der mittleren Pipette aus dem gelben Reaktionsgefäß vorsichtig die überstehende Flüssigkeit ohne dabei das unten abgesetzte Pellet zu berühren. Die abgenommene Flüssigkeit geben Sie in das Abfallgefäß (Reaktionsgefäß A). Bitte zeigen Sie das gelbe Reaktionsgefäß anschließend einem der Betreuer zur Kontrolle. |
| | <ul style="list-style-type: none"> 11. Geben Sie abschließend 70 µl TBE-Puffer (Reaktionsgefäß TBE) in das gelbe Reaktionsgefäß und mixen Sie es auf niedriger Stufe (2 Minuten). Lassen Sie das gelbe Reaktionsgefäß danach für ein paar Minuten stehen. |
-
- 12. Um die Probe für die Gelelektrophorese vorzubereiten, geben Sie 8 µl aus dem **gelben** Reaktionsgefäß in das **rote** Reaktionsgefäße, das von den Betreuern ausgeteilt wird.

Texte zur Vorbereitung der Schüler-zentrierten Diskussion

Landwirte mit Bt-Mais-Anbau

Viele Bauern, die herkömmlichen Mais anbauen, können heutzutage nur hohe Ernteerträge erzielen, indem sie intensiv Dünge- und Insektenvernichtungsmittel einsetzen. Dabei gestaltet sich das Ausbringen der Insektenvernichtungsmittel gerade bei vom Maiszünsler bedrohten Anbauflächen schwierig.

Da die Maispflanzen zum Ausbringungszeitpunkt bereits sehr groß sind und der Bauer die Pflanzen nicht beschädigen darf, muss das Insektizid mit speziell erhöhten Maschinen ausgebracht werden. Ein normaler Traktor würde zu viele Maispflanzen zerstören.

Außerdem muss das Insektenvernichtungsmittel genau zum richtigen Zeitpunkt ausgebracht werden, nämlich dann, wenn der Maiszünsler gerade seine Eier auf den Maispflanzen abgelegt hat. Bringt der Bauer das Insektizid zu spät aus, hat sich die Maiszünslerlarve bereits in die Maispflanze hinein gebohrt und das von außen aufgetragene Gift kann nicht mehr auf die Larven wirken. Bringt er es zu früh aus, bleibt der Maiszünsler ebenfalls unbeeinflusst, da der Giftstoff bis zur Eiablage bereits unwirksam ist.

Auch andere Gegenmaßnahmen wie das Ausbringen von Schlupfwespen oder der Einsatz von im Ökolandbau genutzten Bt-Toxin-Spritzmitteln müssen genau zum richtigen Zeitpunkt erfolgen.

Beim Einsatz von gentechnisch verändertem Bt-Mais erhält der Bauer einen höheren Ertrag, weil er keine durch den Maiszünsler bedingten Ernteeinbußen mehr hat. Zusätzlich spart er die Arbeitszeit die er normalerweise für das Ausbringen der Insektizide benötigt. Außerdem spart er die Kosten für das Insektenvernichtungsmittel und die speziell erhöhten Maschinen, die für das Aufsprühen nötig sind. Alles zusammen führt natürlich zu einem höheren Verdienst für den Bauern.

Neben den Insektenvernichtungsmitteln müssen die Bauern, die herkömmlichen Mais anbauen, häufig zusätzlich Pilzvernichtungsmittel ausbringen. Die vom Maiszünsler befallenen Pflanzen werden nämlich oft zusätzlich von Pilzen befallen. Durch die Löcher, welche die Larven im Stängel hinterlassen, kann der Pilz gut in die Maispflanze eindringen. Der Pilzbefall vermindert die Qualität des Maises weiter, so dass der Bauer den Mais zu niedrigeren Preisen verkaufen muss.

Die Reduktion von Insekten- und Pilzvernichtungsmitteln führt nicht nur zu Einsparungen für den Bauern, sondern ist auch positiv für die Umwelt und die Biodiversität. Nicht selten werden durch das Ausbringen der Pestizide auch nützliche Insekten vernichtet. Häufig sterben viele der im Maisfeld lebenden Insekten nach dem Versprühen der Insektenvernichtungsmittel. Reste der Pestizide gelangen auch in den Boden und können im Boden lebende Organismen schädigen oder sogar bis in das Grundwasser gelangen.

Da auch die Öko-Bauern das Bt-Toxin als Spritzmittel gegen den Maiszünsler verwenden, kann es durch den Anbau von Bt-Mais keine hohen Risiken für Umwelt und Mensch geben.

Wichtig ist, dass den Landwirten die Nutzung solcher neuer Technologien freigestellt ist, damit sie auch in Zukunft konkurrenzfähig bleiben und ihren Mais gewinnbringend verkaufen können.

Die Verbraucher müssen natürlich die Wahl haben. Allerdings muss sich der Verbraucher bewusst machen, dass absolut gentechnikfreie Produkte praktisch nicht mehr sicher zu stellen sind, da eine minimale Beimengung von gentechnisch veränderten Bestandteilen in Erntemaschinen oder bei der Weiterverarbeitung nicht verhindert werden kann. Eine komplette Reinigung der Geräte und Fahrzeuge wäre einfach zu zeitaufwändig und kostspielig.

Landwirte mit herkömmlichem Mais-Anbau und Öko-Bauern

Das Saatgut für gentechnisch veränderten Mais kann man nur von bestimmten Firmen beziehen. Dies macht die Bauern in hohem Maße von einzelnen Firmen abhängig und führt zu einer Monopolstellung der Saatgutfirmen. Wenn zukünftig in der gesamten Landwirtschaft nur noch Bt-Mais angebaut wird, werden die Bauern von wenigen Saatgutfirmen abhängig sein. Durch diese Machtkonzentration bei den Großkonzernen können diese Firmen frei über das Angebot und die Preise von gentechnisch verändertem Saatgut bestimmen. Die Bauern werden immer mehr in Abhängigkeiten von Saatgutfirmen gezwungen und haben keine Wahlfreiheit mehr.

Die althergebrachten landwirtschaftlichen Strukturen werden zerstört und Bauern mit einer kleinen Anbaufläche werden möglicherweise aufgrund zu hoher Saatgutpreise nicht mehr gewinnbringend arbeiten können.

Grundsätzlich sollte man auf eine ökologisch nachhaltige Landwirtschaft umsteigen, denn sie ist die einzig zukunftsfähige Landwirtschaft, da sie allein den Grundsatz der Nachhaltigkeit erfüllt. Allerdings wird der ökologische Landbau zukünftig finanziell untragbar, da die zu ergreifenden Sicherheitsmaßnahmen (Feldabgrenzungen zu Bt-Maisfeldern, um Auskreuzungen zu verhindern; Reinigung von Erntemaschinen etc.) zur Sicherstellung absolut gentechnikfreier Erzeugnisse wahrscheinlich viel zu teuer werden.

Es gibt einige Alternativen, um einem Maiszünslerbefall vorzubeugen. Zum einen kann durch einen möglichst frühen Erntetermin sowie tiefes Pflügen und Häckseln des Maisstrohs, das Auftreten des Maiszünslers im nächsten Jahr reduziert werden. Die Larven, die in den Stoppeln überwintern, werden dabei vernichtet.

Außerdem kann man sogenannte Schlupfwespen ausbringen. Diese Nutzinsekten legen ihre Eier in die Eier des Maiszünslers, so dass keine Maiszünslerlarven, sondern Schlupfwespenlarven schlüpfen. Diese können den Mais nicht schädigen.

Bt-Toxin-Präparate zum Aufspritzen sind im Biolandbau das einzige zugelassene Insektenvernichtungsmittel, das gegen den Maiszünslerbefall wirkt. Dabei wird eine viel geringere Giftmenge auf die Pflanzen aufgetragen. Das Gift wirkt nur während einem eng begrenzten Zeitraum und wird in der Folgezeit sehr schnell wieder abgebaut.

Sollte es in den kommenden Jahren doch zu einer Resistenzentwicklung des Maiszünslers gegen das Bt-Toxin kommen, wären auch diese Präparate unwirksam und die Öko-Bauern hätten kein wirksames Spritzmittel gegen den Maiszünsler mehr.

Wissenschaftler

Bevor Lebens-, Futtermittel und Saatgut auf den Markt gebracht werden, erfolgt eine ausgiebige Prüfung der gesundheitlichen und ökologischen Unbedenklichkeit.

Auch die Wissenschaft betreibt einen hohen Aufwand, um gentechnisch veränderte Pflanzen zu kontrollieren. Die Sicherheitsforschung beschäftigt sich vor allem mit vier Schwerpunkten: dem Risiko einer Schädigung von nützlichen Insekten wie z.B. anderer Schmetterlingsarten, der Abbauezeit des Bt-Toxins im Boden, der möglichen Resistenzentwicklung des Maiszünlers und dem Risiko einer Einkreuzung des Bt-Gens in herkömmliche Maissorten. Dazu werden verschiedenste Versuche in Gewächshäusern, aber auch im Freiland unternommen. Beispielsweise füttert man andere Insekten mit Bt-Mais und untersucht anschließend Darmgewebe-Dünnschnitte, um die Wirkung von Bt-Toxin auf deren Darm zu überprüfen. Außerdem erstellt man Messungen über die Flugweite von Maispollen und versucht so Entfernungen zwischen Feldern mit herkömmlichen Mais und Feldern mit Bt-Mais gesetzlich festzulegen, um eine Einkreuzung in herkömmliche Maissorten zu verhindern.

Im Maiskorn ist weniger Bt-Toxin enthalten als in den restlichen Pflanzenteilen. Deshalb nimmt der Mensch mit der Nahrung eine viel geringere Menge des Toxins auf. Aber auch diesbezüglich werden Untersuchungen durchgeführt, um die Auswirkungen auf den Menschen abzuschätzen.

Grundsätzlich sollten die Verbraucher weiterhin die Wahl haben, ob sie gentechnisch veränderte oder gentechnikfreie Produkte kaufen. Allerdings sind absolut gentechnikfreie Produkte praktisch nicht mehr zu gewährleisten, weil man Ernte- und Verarbeitungsmaschinen niemals hundertprozentig reinigen kann. Eine geringe Beimischung von gentechnisch veränderten Bestandteilen ist deshalb unvermeidbar.

Die Grüne Gentechnik wird zukünftig nicht nur die Ernährung der Menschheit sichern und die weltweiten Hungerprobleme möglicherweise lösen, sondern auch die Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen, Biokraftstoffen etc. absichern. Neben der Nutzung als Lebens- und Futtermittel findet Mais auch als Stärkelieferant für die industrielle Produktion (Papierherstellung, Textil-Industrie, Herstellung von Chemikalien und Pharmazeutika) und als nachwachsender Rohstoff (Biogaserzeugung, neuartige Verpackungsmaterialien, Bindemittel) Verwendung.

Wirtschaftsvertreter

Jährlich werden etwa 4 Prozent der weltweiten Maisernte durch den Maiszünsler vernichtet. Das entspricht dem Nahrungsbedarf von 60 Millionen Menschen. Im Einzelfall kann der Schädling bis zu 50 Prozent der Maisernte vernichten, was zu hohen Ernteeinbußen und in der Folge zu hohen Verlusten bei den Bauern führt.

Die Grüne Gentechnik ist ein Wirtschaftszweig mit einem hohen zukünftigen Wachstumspotenzial. Die Anwendungsmöglichkeiten gehen weit über die Möglichkeiten herkömmlicher Züchtung hinaus. Durch die klassische Pflanzenzüchtung verändert der Mensch bereits seit 10000 Jahren das Erbgut von Wildpflanzen, um ertragreiche und widerstandsfähige Nutzpflanzen zu züchten. Die Gentechnik ist dabei nur eine Weiterentwicklung, die vielerlei Einsatzmöglichkeiten in sich birgt, welche mit der klassischen Züchtung nicht erreichbar sind.

In Zukunft wird es viele Neuentwicklungen geben. Andere Länder wie z.B. die USA, Argentinien und Brasilien bauen bereits auf einem Großteil ihrer Maisanbauflächen gentechnisch veränderten Mais an und können ihren Mais durch die niedrigeren Produktionskosten (durch die Einsparung von Insekten- und Pilzvernichtungsmitteln, geringere Ernteeinbußen, höhere Erträge, geringere Bearbeitungszeiten) billiger auf den Markt bringen. Bauern, die hingegen herkömmliche Maissorten anbauen, können nur Gewinne erwirtschaften, indem sie den Mais zu höheren Preisen verkaufen. Auf Dauer sind sie nicht mehr konkurrenzfähig und finden möglicherweise keine Käufer mehr für ihren teuren Mais.

Ein generelles Verbot von gentechnisch veränderten Maissorten würde Deutschland in Zukunft in hohem Maße von anderen Ländern abhängig machen. Viele Firmen würden aufgrund der niedrigeren Kosten nicht auf den gentechnisch veränderten Mais verzichten wollen und Produkte aus dem Ausland importieren bzw. ihre Produktion ins Ausland verlagern.

Mitglieder von Umweltverbänden und Umweltschutzorganisationen

Die Grüne Gentechnik allein wird das Hungerproblem in der Welt nicht lösen. Aktuell werden viele gentechnisch veränderte Pflanzen nur angebaut, um die Gewinne großer Unternehmen weiter zu steigern. Nur selten wird transgenes Saatgut zur Verfügung gestellt, um Lebensmittel für den Eigenbedarf zu produzieren. Dies wäre allerdings dringend notwendig, um gegen den Nahrungsmangel in Entwicklungsländern anzukämpfen.

Die Produktion des Bt-Toxins in den Maispflanzen kann vielerlei Folgen haben und die Auswirkungen sind noch nicht abschätzbar. Auch eine umfangreiche Sicherheitsforschung kann die Folgen nicht hinreichend vorher sagen, da die Komplexität der Natur und die Wechselwirkungen im Ökosystem noch nicht ausreichend erforscht und verstanden sind. Viele Versuche werden nicht über längere Zeiträume durchgeführt, so dass mögliche Langzeitfolgen unberücksichtigt bleiben.

Eine Anreicherung des Bt-Giftstoffes in der Natur, eine Schädigung von Bodenorganismen und damit eine Zerstörung des Lebensraumes Boden sowie eine Schädigung von Nichtzielorganismen (Insekten und Pflanzen) und in der Folge eine erhöhte Sterblichkeit oder verringerte Fruchtbarkeit von nützlichen Insekten sind nur einige der zahlreichen möglichen negativen Folgen.

Durch eine mögliche Auskreuzung des Bt-Gens in herkömmliche Maissorten ist ein Aussterben dieser herkömmlichen Maissorten zu vermuten. Dies würde die Biodiversität stark beeinträchtigen.

Auch eine Auskreuzung in Wildpflanzen ist möglich. Dabei würden Pflanzenarten unwiderruflich verdrängt oder verändert. Man befürchtet langfristig eine Bildung von „Superunkräutern“, die in der Folge einen erhöhten Pestizideinsatz nach sich ziehen.

Die Veränderung von Wildarten verändert auch die Zusammensetzung von Nahrungsketten und Nahrungsnetzen, was wahrscheinlich Folgen für das gesamte Ökosystem hat.

Da in den Bt-Maispflanzen sehr viel Toxin enthalten ist, wirkt ein hoher Selektionsdruck auf die Maiszünsler. Es wird vermutet, dass ohne geeignete Gegenmaßnahmen, wahrscheinlich irgendwann eine Resistenzentwicklung des Maiszünslers gegen das Bt-Toxin stattfindet. Diese resistenten Maiszünsler wären dann auch wieder in der Lage Bt-Mais zu schädigen, weshalb auch die Bt-Bauern wieder mit Ernteverlusten rechnen müssten. In der Folge müssten neue Schutzmaßnahmen gegen den Maiszünslerbefall gefunden werden.

Prinzipiell ist auch bei einer umfangreichen Forschung keine absoluter Negativ- oder Positiv-Nachweis möglich. Zudem sind wissenschaftliche Gutachten häufig nicht neutral, da auch die Forschung an Universitäten und anderen Institutionen durch große Saatgutfirmen finanziert wird.

Da der Bt-Mais nicht nur für die Produktion von Lebensmitteln, sondern auch für die Verfütterung an Tiere verwendet wird, nimmt der Mensch das Toxin nicht nur durch den Genuss von Maisprodukten, sondern möglicherweise auch durch den Verzehr von Fleisch- und Milchprodukten auf. Vor allem Allergiker könnten mit solchen in der Nahrung enthaltenen Toxinen Probleme bekommen.

Textaufgabe

Diskussion über den Einsatz der Grünen Gentechnik

Das Thema Grüne Gentechnik wird in der Öffentlichkeit sehr vielfältig diskutiert, allerdings gibt es auch Fehlinformationen, welche an die Verbraucher weiter gegeben werden. Einiges wird durch Medien und Verbände sehr einseitig dargestellt, so dass es den Verbrauchern oft schwer fällt, die verschiedenen Argumente und Standpunkte objektiv zu bewerten und sich ein eigenes Urteil zu bilden. Um eine Meinung über die Grüne Gentechnik zu entwickeln, müssen die Chancen und die Risiken, die von dieser Technik ausgehen, genau abgewogen werden.

Im Folgenden finden Sie fünf Texte, die das Thema Grüne Gentechnik und den Anbau von Bt-Mais aus unterschiedlichen Blickwinkeln beleuchten und diskutieren. Lesen Sie die Texte und streichen Sie sich wichtige Punkte und Argumente an! Beantworten Sie danach die Fragen auf der letzten Seite!

Text A

Viele Bauern, die herkömmlichen Mais anbauen, können heutzutage nur hohe Ernteerträge erzielen, indem sie intensiv Dünge- und Insektenvernichtungsmittel einsetzen. Dabei gestaltet sich das Ausbringen der Insektenvernichtungsmittel gerade bei vom Maiszünsler bedrohten Anbauflächen schwierig.

Da die Maispflanzen zum Ausbringungszeitpunkt bereits sehr groß sind und der Bauer die Pflanzen nicht beschädigen darf, muss das Insektizid mit speziell erhöhten Maschinen ausgebracht werden. Ein normaler Traktor würde zu viele Maispflanzen zerstören.

Außerdem muss das Insektenvernichtungsmittel genau zum richtigen Zeitpunkt ausgebracht werden, nämlich dann, wenn der Maiszünsler gerade seine Eier auf den Maispflanzen abgelegt hat. Bringt der Bauer das Insektizid zu spät aus, hat sich die Maiszünslerlarve bereits in die Maispflanze hinein gebohrt und das von außen aufgetragene Gift kann nicht mehr auf die Larven wirken. Bringt er es zu früh aus, bleibt der Maiszünsler ebenfalls unbeeinflusst, da der Giftstoff bis zur Eiablage bereits unwirksam ist.

Auch andere Gegenmaßnahmen wie das Ausbringen von Schlupfwespen oder der Einsatz von im Ökolandbau genutzten Bt-Toxin-Spritzmitteln müssen genau zum richtigen Zeitpunkt erfolgen.

Beim Einsatz von gentechnisch verändertem Bt-Mais erhält der Bauer einen höheren Ertrag, weil er keine durch den Maiszünsler bedingten Ernteeinbußen mehr hat. Zusätzlich spart er die Arbeitszeit, die er normalerweise für das Ausbringen der Insektizide benötigt. Außerdem spart er die Kosten für das Insektenvernichtungsmittel und die speziell erhöhten Maschinen, die für das Aufsprühen nötig sind. Alles zusammen führt natürlich zu einem höheren Verdienst für den Bauern.

Text B

Das Saatgut für gentechnisch veränderten Mais kann man nur von bestimmten Firmen beziehen. Dies macht die Bauern in hohem Maße von einzelnen Firmen abhängig und führt zu einer Monopolstellung der Saatgutfirmen. Wenn zukünftig in der gesamten Landwirtschaft nur noch Bt-Mais angebaut wird, werden die Bauern von wenigen Saatgutfirmen abhängig sein. Durch diese Machtkonzentration bei den Großkonzernen können diese Firmen frei über das Angebot und die Preise von gentechnisch verändertem Saatgut bestimmen. Die Bauern werden immer mehr in Abhängigkeiten von Saatgutfirmen gezwungen und haben keine Wahlfreiheit mehr.

Es gibt einige Alternativen, um einem Maiszünslerbefall vorzubeugen. Zum einen kann durch einen möglichst frühen Erntetermin sowie tiefes Pflügen und Häckseln des Maisstrohs, das Auftreten des Maiszünslers im nächsten Jahr reduziert werden. Die Larven, die in den Stoppeln überwintern, werden dabei vernichtet.

Außerdem kann man sogenannte Schlupfwespen ausbringen. Diese Nutzinsekten legen ihre Eier in die Eier des Maiszünslers, so dass keine Maiszünslerlarven, sondern Schlupfwespenlarven schlüpfen. Diese können den Mais nicht schädigen.

Bt-Toxin-Präparate zum Aufspritzen sind im Biolandbau das einzige zugelassene Insektenvernichtungsmittel, das gegen den Maiszünslerbefall wirkt. Dabei wird eine viel geringere Giftmenge auf die Pflanzen aufgetragen. Das Gift wirkt nur während einem eng begrenzten Zeitraum und wird in der Folgezeit sehr schnell wieder abgebaut. Sollte es in den kommenden Jahren doch zu einer Resistenzentwicklung des Maiszünslers gegen das Bt-Toxin kommen, wären auch diese Präparate unwirksam und die Öko-Bauern hätten kein wirksames Spritzmittel gegen den Maiszünsler mehr.

Text C

Jährlich werden etwa 4 Prozent der weltweiten Maisernte durch den Maiszünsler vernichtet. Das entspricht dem Nahrungsbedarf von 60 Millionen Menschen. Im Einzelfall kann der Schädling bis zu 50 Prozent der Maisernte vernichten, was zu hohen Ernteeinbußen und in der Folge zu hohen Verlusten bei den Bauern führt.

Die Grüne Gentechnik ist ein Wirtschaftszweig mit einem hohen zukünftigen Wachstumspotenzial. Die Anwendungsmöglichkeiten gehen weit über die Möglichkeiten herkömmlicher Züchtung hinaus. Durch die klassische Pflanzenzüchtung verändert der Mensch bereits seit 10 000 Jahren das Erbgut von Wildpflanzen, um ertragreiche und widerstandsfähige Nutzpflanzen zu züchten. Die Gentechnik ist dabei nur eine Weiterentwicklung, die vielerlei Einsatzmöglichkeiten in sich birgt, welche mit der klassischen Züchtung nicht erreichbar sind.

In Zukunft wird es viele Neuentwicklungen geben. Andere Länder wie z.B. die USA, Argentinien und Brasilien bauen bereits auf einem Großteil ihrer Maisanbauflächen gentechnisch veränderten Mais an und können ihren Mais durch die niedrigeren Produktionskosten (durch die Einsparung von Insektenvernichtungsmitteln, geringere Ernteeinbußen, höhere Erträge, geringere Bearbeitungszeiten) billiger auf den Markt bringen. Bauern, die hingegen herkömmliche Maissorten anbauen, können nur Gewinne erwirtschaften, indem sie den Mais zu höheren Preisen verkaufen. Auf Dauer sind sie nicht mehr konkurrenzfähig und finden möglicherweise keine Käufer mehr für ihren teureren Mais.

Ein generelles Verbot von gentechnisch veränderten Maissorten würde Deutschland in Zukunft in hohem Maße von anderen Ländern abhängig machen. Viele Firmen würden aufgrund der niedrigeren Kosten nicht auf den gentechnisch veränderten Mais verzichten wollen und Produkte aus dem Ausland importieren bzw. ihre Produktion ins Ausland verlagern.

Text D

Bevor Lebens-, Futtermittel und Saatgut auf den Markt gebracht werden, erfolgt eine ausgiebige Prüfung der gesundheitlichen und ökologischen Unbedenklichkeit.

Auch die Wissenschaft betreibt einen hohen Aufwand, um gentechnisch veränderte Pflanzen zu kontrollieren. Die Sicherheitsforschung beschäftigt sich vor allem mit vier Schwerpunkten: dem Risiko einer Schädigung von nützlichen Insekten wie z.B. anderer Schmetterlingsarten, der Abbaugeschwindigkeit des Bt-Toxins im Boden, der möglichen Resistenzentwicklung des Maiszünslers und dem Risiko einer Einkreuzung des Bt-Gens in herkömmliche Maissorten. Dazu werden verschiedenste Versuche in Gewächshäusern, aber auch im Freiland unternommen. Beispielsweise füttert man andere Insekten mit Bt-Mais und untersucht anschließend Darmgewebe-Dünnschnitte, um die Wirkung des Bt-Toxins auf deren Darm zu überprüfen. Außerdem erstellt man Messungen über die Flugweite von Maispollen und versucht so, Entfernungen zwischen Feldern mit herkömmlichen Mais und Feldern mit Bt-Mais gesetzlich festzulegen, um eine Einkreuzung in herkömmliche Maissorten zu verhindern.

Text E

Die Produktion des Bt-Toxins in den Maispflanzen kann vielerlei Folgen haben und die Auswirkungen sind noch nicht abschätzbar. Auch eine umfangreiche Sicherheitsforschung kann die Folgen nicht hinreichend vorher sagen, da die Komplexität der Natur und die Wechselwirkungen im Ökosystem noch nicht ausreichend erforscht und verstanden sind. Viele Versuche werden nicht über längere Zeiträume durchgeführt, so dass mögliche Langzeitfolgen unberücksichtigt bleiben.

Eine Anreicherung des Bt-Giftstoffes in der Natur, eine Schädigung von Bodenorganismen und damit eine Zerstörung des Lebensraumes Boden sowie eine Schädigung von Nichtzielorganismen (Insekten und Pflanzen) sind nur einige der zahlreichen möglichen negativen Folgen.

Auch eine Auskreuzung in Wildpflanzen ist möglich. Dabei würden Pflanzenarten unwiderruflich verdrängt oder verändert. Man befürchtet langfristig eine Bildung von „Super-Unkräutern“, die in der Folge einen erhöhten Pestizideinsatz in der Landwirtschaft nach sich ziehen.

Die Veränderung von Wildarten verändert auch die Zusammensetzung von Nahrungsketten und Nahrungsnetzen, was wahrscheinlich Folgen für das gesamte Ökosystem hat.

Da in den Bt-Maispflanzen sehr viel Toxin enthalten ist, wirkt ein hoher Selektionsdruck auf die Maiszünsler. Es wird vermutet, dass ohne geeignete Gegenmaßnahmen, wahrscheinlich irgendwann eine Resistenzentwicklung des Maiszünslers gegen das Bt-Toxin stattfindet. Diese resistenten Maiszünsler wären dann auch wieder in der Lage Bt-Mais zu schädigen, weshalb auch die Bt-Bauern wieder mit Ernteverlusten rechnen müssten. In der Folge müssten neue Schutzmaßnahmen gegen den Maiszünslerbefall gefunden werden.

Füllen Sie die nachfolgenden Aufgaben stichpunktartig aus!

Welche alternativen Methoden zur Bekämpfung des Maiszünslers gibt es und welche Besonderheiten sind dabei zu beachten?

Welche Vorteile haben die Bauern durch den Anbau von Bt-Mais?

Welche Risiken werden im Zusammenhang mit dem Einsatz der Grünen Gentechnik und dem Anbau von Bt-Mais genannt?

Welche Argumente werden von der Wirtschaft zum Thema Grüne Gentechnik vorgebracht?

Wie schätzen Sie die Meinung von deutschen Bauern und Verbrauchern ein?

(Eidesstattliche) Versicherungen und Erklärungen

(§ 5 Nr. 4 PromO)

Hiermit erkläre ich, dass keine Tatsachen vorliegen, die mich nach den gesetzlichen Bestimmungen über die Führung akademischer Grade zur Führung eines Doktorgrades unwürdig erscheinen lassen.

(§ 8 S. 2 Nr. 5 PromO)

Hiermit erkläre ich mich damit einverstanden, dass die elektronische Fassung meiner Dissertation unter Wahrung meiner Urheberrechte und des Datenschutzes einer gesonderten Überprüfung hinsichtlich der eigenständigen Anfertigung der Dissertation unterzogen werden kann.

(§ 8 S. 2 Nr. 7 PromO)

*Hiermit erkläre ich eidesstattlich, dass ich die Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.
Ich habe die Dissertation nicht bereits zur Erlangung eines akademischen Grades anderweitig eingereicht und habe auch nicht bereits diese oder eine gleichartige Doktorprüfung endgültig nicht bestanden.*

(§ 8 S. 2 Nr. 9 PromO)

Hiermit erkläre ich, dass ich keine Hilfe von gewerblichen Promotionsberatern bzw. –vermittlern in Anspruch genommen habe und auch künftig nicht nehmen werde.

.....
Ort, Datum, Unterschrift

Danksagung

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Franz X. Bogner möchte ich für die Betreuung meiner Doktorarbeit am Lehrstuhl Didaktik der Biologie und für die Möglichkeit mein Forschungsprojekt im Demonstrationslabor Bio-/Gentechnik durchzuführen danken. Ich bedanke mich besonders für die Anleitung zum selbstständigen wissenschaftlichen Arbeiten sowie die Ideen und Anregungen während meiner Promotion. Ich möchte mich außerdem für die Gelegenheit zur Durchführung von Lehrveranstaltungen sowie zur Mitarbeit im EU-Projekt OpenScienceResources bedanken.

Besonderer Dank gilt Frau Sabine Hübner, deren Tür immer offen stand und die von Beginn an ein offenes Ohr für mich hatte. Vielen Dank für die Unterstützung und die vielen guten Ratschläge, die mir immer wieder über Tiefpunkte hinweg geholfen haben.

Ich danke Herrn Dr. Franz-Josef Scharfenberg für die Unterstützung meiner Arbeit im Demonstrationslabor und seine Hilfsbereitschaft und Anregungen zu didaktischen und statistischen Fragen.

Ein großer Dank gilt meinen Kolleginnen und Kollegen, die mich während meiner Doktorandenzeit begleitet haben. Der fachliche Austausch und die Gespräche im Team waren mir immer eine große Hilfe. Insbesondere möchte ich Frau Sabrina Sattler, Frau Gabriele Abraham und Frau Daniela Sellmann für die gemeinsame Zeit danken.

Ich möchte mich außerdem bei allen Schülerinnen und Schülern sowie den Lehrkräften für die Teilnahme an meinem Projekt und das Engagement bedanken, wodurch diese Arbeit erst ermöglicht wurde.

Besonders großer Dank gilt meinen Eltern, meiner Schwester und Daniel. Ich danke euch vor allem für eure stetige Unterstützung, euer Verständnis und die Motivation, die ihr mir immer wieder von Neuem gegeben habt. Danke, dass ihr immer da wart und seid!

Herzlichen Dank an alle, die in irgendeiner Form zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben!

