

Studienseminar für Gymnasien Bensheim

Methoden im computergestützten Gentechnikunterricht:

Implementierung virtueller Vermittlungsmaßnahmen zur Umsetzung eines handlungsorientierten Konzepts in der Jahrgangsstufe 12.

Pädagogische Prüfungsarbeit im Fach Biologie

Vorgelegt von Rouven Hollmann
Studienreferendar am Goethe-Gymnasium

Bensheim im Juli 2004



Biologie Leistungskurs Jahrgangsstufe 12 Schuljahr 2003/04

„Zwei verhängnisvolle wissenschaftliche Entdeckungen haben mein Leben gekennzeichnet: Erstens die Spaltung des Atoms, zweitens die Aufklärung der Chemie der Vererbung. In beiden Fällen geht es um die Misshandlung des Kerns: des Atomkerns, des Zellkerns. In beiden Fällen habe ich das Gefühl, dass die Wissenschaft eine Schranke überschritten hat, die sie hätte scheuen sollen.“

E. CHARGAFF (1947)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	0
Einleitung	1
1. Planungsgrundlagen für die Unterrichtseinheit	2
1.1 Kurzer sachanalytischer Überblick	2
1.2 Didaktische Überlegungen	3
1.2.1 Didaktische Zentren der Unterrichtsreihe	4
1.2.2 Rahmenbedingungen eines alternativen Vermittlungskonzepts zur Gentechnik im Unterricht	9
1.2.3 Konzeption der Unterrichtseinheit.....	12
1.3 Lernziele.....	15
1.4 Methodische Entscheidungen.....	16
1.5 Stundenverlaufsplan	22
2 Durchführung exemplarischer Stunden	24
2.1 12. + 13. Stunde: Semikonservative Replikation der DNA bei prokaryotischen Organismen - ein molekularer Prozess	24
2.2 34. Stunde: Virtuelle Simulation gentechnischer Methoden und deren praktischer Bezug am Beispiel transgener Pflanzen	29
2.3 Laboraufenthalt am XLAB: Sichelzellanämie	33
3 Reflexion der Unterrichtseinheit	36
Literatur	41
Anhang	46

Zusammenfassung

Die Gentechnik im hessischen Lehrplan wird besonders durch praktische Anwendung akzentuiert. Es sollen zwei molekularbiologische Methoden näher kennen gelernt werden, die in der Praxis ihren Einsatz finden. Die Umsetzung ist jedoch durch räumliche bzw. materielle Ausstattung an den Schulen stark eingeschränkt. Zudem verbietet der Gesetzgeber eine Manipulation von Lebewesen, auch die einzelliger Organismen. Ein *schülerzentrierter* und *handlungsorientierter* Unterricht zur praktischen Vermittlung der Gentechnologie ist somit in Schulen auf Grund der Gesetzesvorgaben streng geregelt und nur bedingt möglich. Trotzdem lassen sich einige grundlegende Experimente und standardisierte Vorgehensweisen von Schülern umsetzen.

Die Ausnahme bietet der für Schulen entwickelte *blue genes* - Koffer. Restriktionsversuche und Gelelektrophoresen können gefahrlos durchgeführt werden. Die Klonierung eines *E. coli* - Stammes, Herstellung rekombinater DNA und die Selektion ist, mit finanziellem Aufwand, durchführbar. *Blue genes* dient ausschließlich dem reinen Methodenlernen, wobei die Versuche auf einer abstrakten Ebene bleiben und ein lebensweltlicher Bezug oft fehlt.

In den vergangenen Jahren haben sich eine Reihe *außerschulische Institutionen* auf Experimentalversuche mit Schülern spezialisiert. Eines der bedeutendsten in Deutschland ist das *XLAB - Göttingen*, das mit seinen hochqualifizierten „Experimentatoren“ hohe Maßstäbe in der Qualität der Versuche und im Umgang mit Schülern setzt. Es wird ein jugendgerechtes Experimentieren in verschiedenen naturwissenschaftlichen Bereichen (Biologie, Chemie, Geowissenschaften, Informatik, Mathematik und Physik) angeboten und sogar Kooperationen in sogenannten *Science Camps* auf internationaler Ebene betrieben.

Die Umsetzung solcher Projekte ist im Schulalltag nur mit sehr großem Engagement der entsprechenden Lehrer durchzuführen und der finanzielle Aufwand kann meistens nicht von der Schule oder von den Schülern getragen werden. Sollten diese Hürden beseitigt sein, dann ergibt sich das Problem, dass Schüler keine gentechnische Experimentiererfahrung haben und übende Elemente dem Laborbesuch oder den *blue gene* - Versuchen vorausgehen müssen, um regelgerecht und angemessen mit den Reagenzien umzugehen und teure unbezahlbare Laborgeräte mangels Erfahrung nicht zu beschädigen.

Alternativen oder auch Ergänzungen bietet die Software *GenLab*. Sie ist ein multimediales System zum Erlernen der theoretischen und praktischen Grundlagen der Gentechnik. Kernstück ist ein virtuelles Labor zur interaktiven und realitätsnahen Simulation gentechnischer Versuche. Der Grundgedanke des Laborkonzeptes ist, Experimente am Computer so realitätsgetreu wie möglich durchführen zu können. Um die Lernerfahrungen und die Lernchancen der Schüler methodisch zu erweitern und die praktischen Versuche zu festigen, wird mit Hilfe der Software *GenLab* ein virtuelles Genlabor simuliert, das ohne Gefahr, ohne Fehler mit negativen Folgen und ohne Sicherheitsvorschriften den Schülern realitätsnah gentechnisches Arbeiten erlaubt. Die Voraussetzungen eines offenen, handlungsorientierten Unterrichts sind damit weitgehend erfüllt.

Einleitung

Die Gentechnik als Bereich der Molekularbiologie nimmt im „zeitgemäßen Biologieunterricht“ der gymnasialen Oberstufe einen wichtigen Stellenwert ein. Ihre Bedeutung für den einzelnen Menschen, für die Gesellschaft und somit auch für das Fach Biologie steht außer Frage. In aktuellen Berichterstattungen der Medien wird die Thematik über die Anwendung und den Einsatz der Molekulargenetik politisch, wirtschaftlich, ethisch und gesellschaftlich weiterhin kritisch diskutiert.

In den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts stand die Anwendung gentechnischer Methoden in der Pflanzenzucht im Vordergrund wissenschaftlicher Bemühungen. Die *Grüne Gentechnik* wurde Anfang des neuen Jahrtausends, im Zuge der rasanten Entwicklung der Humangenetik, durch das enthusiastisch gefeierte *Humangenomprojekt* (HUGO) zur Entschlüsselung des menschlichen Genoms in der öffentlichen Diskussion ersetzt und weitaus kritischer hinterfragt. Visionäre Vorstellungen einer „schönen neuen Welt“ prägten nun nach diesem Paradigmenwechsel die öffentliche Meinung. Vertreter des HUGO-Projekts hingegen sahen in der Entschlüsselung der rund drei Milliarden Basenpaaren des menschlichen DNA-Stranges „einen revolutionären Prozess in der biomedizinischen Wissenschaft zu Gesundheit und dem Wohlergehen der gesamten Menschheit“ (KATTMANN 2003, 4). Die Humangenetik manifestierte sich in der Wissenschaft kurzzeitig zum Allheilmittel und Hoffnungsträger in Medizin und Biologie. So entstand ein Bild von der Gentechnik das Fluch und Segen zugleich widerspiegelte. Politik, Kirche und Gesellschaft wurden Spielball zwischen diesen beiden Fronten. Mangelndes Wissen und Aufklärung führen auf Grund des komplexen Sachverhaltes zu fehlender Urteils- und Entscheidungsfähigkeit bezüglich der realen Einschätzung der gegenwärtigen Situation. Ernüchterung wurde von Seitens der Experten¹ schnell geäußert: „Der genetisch durchleuchtete Mensch bleibt züchtig verhüllt, zumindest solange die Funktion der kleinen Teile der DNA-Sequenz nicht aufgeklärt sind, die man Gene nennt. Bis dahin gilt: Wir wissen noch nichts.“ (KATTMANN 2003, 4).

Die dargestellte Unterrichtseinheit soll den Schülern² die Grundlagen der Gentechnik soweit vermitteln, dass eine realistische Einschätzung und kritische Reflexion der Thematik möglich ist. Theoretische Grundlagen sollen in einem handlungsorientierten Prozess durch verschiedene praktische Methoden ergänzt und gefestigt werden. Die Implementierung Neuer Medien soll dabei helfen ein Verständnis von dynamischen, molekularen Prozessen zu vermitteln. Eine Auseinandersetzung mit den Inhalten durch Simulationen soll Unterstützung leisten, selbstständig aktiv den Gegenstand zu erschließen. Durch diese Form des *selbststeuernden Lernens* am Computer wird im Gegensatz zum passiven Rezipieren bei einfachen Animationen

¹ Christiane Nüsslein-Vollhardt: 1995 Nobelpreis für Medizin, seit 2001 Mitglied im nationalen Ethikrat der Bundesregierung

² Wenn im Folgenden die männliche Form gebraucht wird, so ist die weibliche immer mitgemeint.

die Motivation der Lernenden verstärkt sein und zugleich der Umgang mit den neuen Medien geschult (vgl. NERDEL 2002, 3).

Für die Umsetzung der Unterrichtsreihe ergeben sich folgende Kernfragen: Wie lassen sich molekulare Vorgänge an einem beweglichen Modell von Schülern entwickeln? Welche Verknüpfungsmöglichkeiten gibt es zwischen Theorie, Experiment und Simulation? Wie können die theoretischen und praktischen Inhalte des Unterrichtes zu einer kritischen Reflexion des Gegenstandes führen und auf die gesellschaftliche Diskussion angewandt werden? Welche Chancen gibt es, eine reale Einschätzung und tatsächliche Situation der Praxis den Schülern zu vermitteln?

Die 35stündige Unterrichtsreihe gliedert sich in drei aufeinander aufbauende Schwerpunkte. Im ersten Teil werden die Grundlagen der Molekulargenetik vermittelt, wobei eine klare Vorstellung vom Aufbau der DNA und den molekularbiologischen Prozessen von den Schülern entwickelt werden soll (vgl. HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM 2003, 38). Im praktischen Teil der Arbeit werden zwei Methoden diskutiert und anhand von gentechnischen Experimenten im Unterricht umgesetzt. Hierbei sollen die biologischen Arbeitsweisen auch mit Hilfe von Simulationen am Computer erschlossen werden. Ergänzend zur praktischen Vorgehensweise in der Schule werden im dritten Teil, im Rahmen eines Laboraufenthalts an einem Universitätsinstitut, reale Eindrücke und Arbeitsweisen vermittelt (vgl. HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM 2003, 40).

Das erste Kapitel dieser Arbeit befasst sich mit der Planung der Unterrichtsreihe. Hierbei bilden die Lerngruppe, die Rahmenbedingungen, sowie didaktische und methodische Aspekte die Grundlage für die Konzeption der Einheit, wobei auf Grund des Stundenumfangs eine genaue Sachanalyse und detaillierte didaktische und methodische Überlegungen der einzelnen Stunden nicht dargestellt werden kann. Im zweiten Kapitel werden zwei Unterrichtsstunden und ein Teil des Laboraufenthalts exemplarisch in detaillierter Form dargestellt. Abschließend sollen im dritten Kapitel die Ergebnisse und Erfahrungen unter Einbeziehung evaluativer Elemente kritisch reflektiert und ausgewertet werden.

1. Planungsgrundlagen für die Unterrichtseinheit

1.1 Kurzer sachanalytischer Überblick

Die Wiederentdeckung der Mendelschen Regeln von 1866 im Jahr 1900 war die Geburtsstunde der Genetik. MORGAN untermauerte Anfang des letzten Jahrhunderts die Aussage, dass die Gene sich auf den Chromosomen befinden und entwickelte die Methode der *Genkartierung*. Bis 1944 glaubte man fest daran, dass Proteine die molekulare Beschaffenheit der Gene verkörperten, bis AVERY die *Desoxyribonukleinsäure* (DNA) als genetisches Material erkannte und experimentell nachwies. Ein weiterer Meilenstein der Genetik 1953 war die Entschlüsselung der *Struktur der DNA* durch WATSON und CRICK, sowie CHARGAFF und FRANKLIN. Mangelnde technische Verfahren und Methoden führten vorerst zum Stillstand weiterer Vorgehensweisen. Erst in den siebziger Jahren kam es zur Revolution der modernen Biologie. Es entstand eine völlig neue Methodik mit der man Experimente durchführen konnte, die bisher unmöglich waren. Die Gentechnologie und

mit ihr das Kernstück aller bisher entwickelter Verfahren, die *DNA-Klonierung*, also die Vervielfältigung bestimmter DNA-Abschnitte und somit spezifischer Gene, leitete das dritte Zeitalter der Genetik ein. Höhepunkt dieser Entwicklung in den achtziger Jahren war die *Polymerasekettenreaktion* (PCR), die eine Ergänzung bzw. Erweiterung der Klonierung darstellte (vgl. BROWN 2002, 3-4).

Ein DNA-Klonierungsexperiment beinhaltet folgende grundlegenden Schritte:

- Die DNA des Spenderorganismus muss mittels *Restriktionsenzymen* zerschnitten werden, um das gewünschte Gen aus der Gesamt-DNA zu isolieren.
- Die *Gelelektrophorese* spaltet die Nukleinsäurefragmente ihrer Größe nach auf und gibt qualitative Ergebnisse über den Restriktionsprozess bekannt.
- Die Spender-DNA wird in einen Vektor (z.B. Plasmid) eingefügt, so dass ein *rekombinates DNA-Molekül* entsteht.
- Der veränderte Vektor wird in *kompetente Zellen* (z.B. Bakterien) eingeschleust. Bei erfolgreicher Transformation entsteht ein *transgener Organismus* mit der Fremd-DNA und neuen Eigenschaften.
- In einem letzten Schritt müssen die genetisch veränderten Lebewesen *selektiert* werden, die das gewünschte Gen tatsächlich aufgenommen haben.
- Die Vervielfältigung dieser genetisch veränderten Organismen nennt man *klonen*. Bei Bakterien entstehen durch viele Zellteilungen eine Kolonie, ein Klon gleichartiger Wirtszellen (vgl. BROWN 2002, 5).

Anfangs kamen diese Methoden hauptsächlich bei Bakterien später an Pflanzen (Genmais, „Antimatsch-Tomate“) zum Einsatz. Zu Beginn des 21. Jahrhunderts steht nun besonders der Mensch im Mittelpunkt der Entwicklung gentherapeutischer Verfahren. Bei der *somatischen Gentherapie* wird in die genetisch gesteuerten Funktionen von Körperzellen eines ausgewachsenen Menschen mittels Viren, Mirkoinjektion, Partikelbeschuss, Liposomen oder Elektroporation eingegriffen. Sie ist aber nur bei monogen bedingten Krankheiten (Mukoviszidose, Muskeldystrophie, Hämophilie) einsetzbar (vgl. KATTMANN 1995, 13; KATTMANN 2004, 6; BIALKE-ELLINGHAUSEN/BENNERT/HAUSMANN 2004, 42; HINRICHS 2004, 50). Bei der somatischen Gentherapie bleiben die Veränderungen auf das Individuum beschränkt. Im Gegensatz dazu wird bei der *Keimbahntherapie* die Zygote genetisch verändert. Die Eingriffe in die Keimzellen werden somit an die nächste Generation weitergegeben. In Deutschland unterliegt dieses Verfahren am Menschen nach § 5 dem Embryonenschutzgesetz und ist verboten.

1.2 Didaktische Überlegungen

Die didaktischen Überlegungen der durchgeführten Unterrichtseinheit lassen sich im Wesentlichen auf vier didaktische Zentren beziehen, die für die methodische Planung und unterrichtliche Umsetzung, mit dem Schwerpunkt einer handlungsorientierten Unterrichtskonzeption, von Bedeutung sind. Hierbei müssen drei Entscheidungskriterien berücksichtigt werden: Wissenschaft, Gesellschaft und Schüler (vgl. ESCHENHAGEN/KATTMANN/ RODI 1998, 42).

Die Voraussetzung zur Vermittlung von Gentechnik sind *fachliche Grundlagen*, die für eine verständnisvolle und nachvollziehbare Vorgehensweise bei praktischen Inhalten von Bedeutung sind. Ohne das Wissen über den molekularen Fundus zur Struktur der DNA ist die Erschließung des Gegenstandes nicht möglich. Insofern sollte dem Thema Gentechnologie immer eine Vertiefung der Molekularbiologie vorangehen.

Die Gentechnik ist eine Sammlung verschiedener Methoden, die in unterschiedlichen wissenschaftlichen Bereichen ihre Anwendung finden. Diese *methodischen Kompetenzen* sollen, im Zuge der Vermittlung von Leitkompetenzen, von den Schülern erworben werden. Der Lehrplan gibt vor zwei dieser Methoden näher kennen zu lernen (vgl. HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM 2003, 40). Die Auswahl dieser beiden Verfahren wird an dieser Stelle didaktisch begründet und in einen fachwissenschaftlichen und lebensweltlichen Kontext gestellt. Ein *schülerzentrierter* und *handlungsorientierter* Unterricht zur praktischen Vermittlung der Gentechnologie ist in Schulen auf Grund der Gesetzesvorgaben streng geregelt und nur bedingt möglich (siehe Sicherheit in Kapitel 1.5). Trotzdem lassen sich einige grundlegende Experimente und standardisierte Vorgehensweisen von Schülern umsetzen.

In diesem Zusammenhang soll auch die Begründung für die *Implementierung einer Simulationssoftware* erfolgen, die für die Vermittlung der Methoden ebenso in Frage kommt wie die „realen“ Schülerexperimente.

Abschließend werden die erworbenen Kompetenzen an konkreten Beispielen in einen lebensweltlichen Kontext gestellt, wobei Argumente für die Einbeziehung einer *außerschulischen Institution* formuliert werden. Umfassende Sachanalysen und didaktische Überlegungen können auf Grund des Umfangs der Unterrichtsreihe und Komplexität des Themenfeldes nicht dargestellt werden. Differenzierte sachanalytische und didaktische Überlegungen finden im Zusammenhang mit den exemplarisch beschriebenen Stunden statt (siehe Kapitel 2).

1.2.1 Didaktische Zentren der Unterrichtsreihe

Gentechnik als Unterrichtsthema

Die Physik und die Chemie prägten Wissenschaft und Gesellschaft des vergangenen Jahrhunderts maßgeblich. Ende des 20. Jahrhunderts gewann die Bio- und Gentechnologie mehr und mehr an Bedeutung und wird jetzt im 21. Jahrhundert ihren „Siegesszug“ beschreiten. Anzeichen dafür gibt es reichlich. Ob Kennzeichnungspflicht gentechnisch veränderter Lebensmittel, Freisetzungsversuche transgener Pflanzen, Novel-Food-Verordnung, Genetischer Fingerabdruck, Hoffnung in der Krebs- und AIDS-Forschung oder Gerüchte über geklonte Menschen nach dem Klonschaf Dolly, die Gentechnik als Schlüsseltechnologie wird die Gesellschaft in vielen Bereichen beeinflussen.

Neben dieser gesellschaftlichen Legitimation erfährt die Biologie einen radikalen Wandel von einer analysierend-beobachteten Wissenschaft hin zu einer „schöpferischen“ Auseinandersetzung mit der Natur, d.h. die gezielte Manipulation und erwünschte Ausstattung von Organismen mit nützlichen Eigenschaften. Erkenntnisse mit so weitreichenden Folgen werden die Lebenswelt der Menschen beeinflussen und auch vor zukünftigen Schülergenerationen nicht halt machen. Die

monoperspektivische Betrachtungsweise auf fachlicher Ebene wird der Forderung nach ganzheitlicher Bildung der gymnasialen Oberstufe jedoch nicht gerecht. Ethische, ökonomische und gesellschaftliche Gesichtspunkte zerran an der Legitimation der Gentechnik und verlangen ein hohes Maß an Reflexion. Daraus ergibt sich die Forderung eines fächerübergreifenden Unterrichts. Da der Umfang und die Vielschichtigkeit der Thematik eine mehrdimensionale Behandlung im reinen Biologieunterricht kaum zulassen und sich im Wesentlichen auf pragmatische Inhalte beschränkt (vgl. HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM 2003, 36-40), muss dennoch eine kritische, aber vorurteilsfreie Position bei der Vermittlung berücksichtigt werden (vgl. KALITZKE 2003).

Die breite Öffentlichkeitsmeinung dürfte im Sinne CHARGAFFS liegen „riskant wie die Atomkraft“, wobei die Risiken auch hier höher bewertet werden als die Vorteile. Vergessen wird dabei oft, dass die Gentechnik schon einen festen Platz in unserem Leben eingenommen hat und in Zukunft unaufhaltsam weitere Bereiche erschließen wird. Zugleich werden fiktive Vorstellungen über die derzeitigen Möglichkeiten konstruiert, die weit jenseits eines realistischen Horizonts liegen. Eine Aufgabe des Biologieunterrichts ist nun diese Missstände ins rechte Licht zu rücken, sie zu durchleuchten, zu analysieren und somit eine kompensatorische Funktion zu übernehmen, die die Entscheidungsfähigkeit der Schüler stärkt, um mit der zukünftigen Konfrontation und Einbindung in weitere Lebensbereiche bewusst umgehen zu können. GERHARDT-DIRCKSEN und DREESMANN (2002, 2) bemerken zum Thema Gentechnik im Biologieunterricht:

„Wer miterlebt hat, wie engagiert Schüler Diskussionen darüber führen, was mit Hilfe von Gentechnik alles möglich sein kann, wie notwendig aber auch ein verantwortungsbewusster Umgang mit der Technik ist, wer die Begeisterung der Schüler bei der Durchführung einfacher Schülerversuche zum Thema beobachtet hat, wird erkennen, dass ein solides Basiswissen in verschiedenen Bereichen dieser komplexen Thematik unerlässlich ist“.

Bedeutung handlungsorientierter und experimenteller Vermittlungswege in der Oberstufe

Die Aufgabe der Lehrkräfte des gymnasialen Schulsystems ist neben der fachlichen Wissensvermittlung auch eine Festigung der Kompetenzen methodischer Bildung. Handlungsorientierte Vermittlungswege, d.h. für die Gentechnik eine experimentelle Erweiterung der Sachinhalte und somit die charakteristische Vorgehensweise in der Naturwissenschaft, bilden eine Form der Vermittlung von Methodenkompetenzen und selbstständig, selbstgeleitetem Lernen. Zugleich wird ein weiterer Lernzielschwerpunkt gymnasialer Bildungsarbeit, die Wissenschaftspropädeutik, gesichert. Die Konferenz der Kultusminister (KMK) hatte bereits im Dezember 1977 eine Empfehlung zum wissenschaftspropädeutischen Arbeiten in der gymnasialen Oberstufe ausgesprochen. „Es sei eine wissenschaftliche Grundbildung zu vermitteln, d.h. eine Vorbereitung auf die Methoden wissenschaftlichen Arbeitens, die zur Kenntnis wesentlicher Strukturen und Methoden von Wissenschaft sowie zum Verständnis ihrer komplexen Denkformen führen sollte“ (LANGLET 2001, 7).

Viele der Schüler werden nach bestandem Abitur ein Hochschulstudium beginnen und besonders in der Anfangszeit werden Strukturierung, Planung und eigenverantwortliche Umsetzung die größte Herausforderung für den Einzelnen darstellen. In Vorlesungen, Seminaren und Praktika wird ein hohes Maß an Eigenständigkeit abverlangt und besonders in Experimentier- und Praxisphasen des naturwissenschaftlichen Studiums müssen die Lernenden arbeitsmethodische Fertigkeiten erwerben, um die neue Situation zu bewältigen. Das Konzept des offenen Unterrichts verdient deshalb besondere Beachtung, da eine rein fachliche Wissensvermittlung den Schülern nicht die notwendige Eigenständigkeit und Flexibilität zukommen lässt, die sie für spätere Berufe benötigen.

„Die Durchführung von Schülerexperimenten gibt eine erste Vorstellung über die experimentelle Basis der Gentechnik“ (GERHARDT-DIRCKSEN/DREESMANN 2002, 2). Die wichtigsten Kriterien des Experiments sind „Beobachten unter künstlich hergestellten Bedingungen, Isolation und Variation“ (ESCHENHAGEN/KATTMANN/RODI 1998, 240). In der Schule wird das Experimentieren in der Regel nur nach dem ersten Kriterium durchgeführt, wobei die Schüler meist nach einer Experimentieranleitung sukzessiv ein Ziel anstreben, das der Lehrkraft bereits bekannt ist und somit nur *bestätigenden Charakter* hat. Ursachen dafür sind die Begrenztheit des verfügbaren Materials, die Unterrichtsdauer, die Sicherheitsvorschriften und besonders die Experimentierfähigkeit der Lernenden. Da für die Schüler das neu zu entdeckende Subjekt oft jedoch noch unbekannt ist, hat es zugleich, ähnlich einem Forschungsversuch im Labor, auch einen *entdeckenden Charakter* (vgl. ESCHENHAGEN/KATTMANN/RODI 1998, 240-241).

Wichtige biologische Entdeckungen der vergangenen Jahrzehnte wurden durch experimentelle Methoden der Gentechnik hervorgebracht (z.B. gentechnische Arzneimittelproduktion, „Grüne Gentechnik“, Gerichts- und Kriminalmedizin; vgl. BROWN 2002, 299-373). Die Gentechnik ist eine Sammlung verschiedener molekularbiologischer Arbeitsmethoden, die im Bereich der Erbinformationen verschiedener Organismen ihre Anwendung finden. Wie im Lehrplan gefordert, sollen im Unterricht zwei gentechnische Experimente durchgeführt werden, wodurch die Schüler biochemische Labormethoden näher kennen lernen sollen (vgl. HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM 2003, 40).

Durch die praktische Einbindung der gentechnischen Experimente in den Unterricht erhalten die Schüler eine realistische Vorstellung vom eigentlichen Gegenstand. Der gezielte Eingriff in das Erbgut von Mikroorganismen lässt das abstrakte Thema greifbarer werden. Sie erfahren wie einfach grundlegende Arbeitsprinzipien und Techniken durchgeführt werden können. Somit wird der Mythos Gentechnik ein großes Stück „entzaubert“ und die Beurteilungs- und Reflexionsfähigkeit der Lernenden über die scheinbar „allmächtige Gentechnik“ erhält eine neue Dimension.

Implementierung von Simulationssoftware als Unterrichtsmedium

Die Medienlandschaft und die Kommunikationstechnologien haben sich in den letzten Jahren rasant geändert. Neue Medien und das Internet haben den Aufstieg in das „Kulturerbe“ erlangt und sind aus dem modernen Leben nicht mehr wegzudenken. Kinder und Jugendliche kommen

bereits mit sehr unterschiedlichen Vorerfahrungen an die weiterführenden Schulen. Es gilt diese Medienkompetenzen weiterzuentwickeln und eine Lernumgebung zu schaffen, die ihnen zur qualitativ hochwertigen Auswahl aus dem schier unendlichen Spektrum des Angebots verhilft und den effektiven Umgang sichert. Für den Einsatz von Computern im Unterricht müssen jedoch nicht unerhebliche, meist aufwendige Rahmenbedingungen geschaffen werden (vgl. LINDNER-EFFLAND 2003, 18-21):

- persönliche Voraussetzungen (neues Rollenverständnis der Lehrkraft, Kompetenzfrage)
- organisatorische Voraussetzungen (Raumbedarf und zeitliche Vorgaben)
- technische Voraussetzungen (Ausstattung von Computern und Software, Wartung)
- finanzielle Voraussetzungen (Finanzierungskonzepte)

Mit den digitalen Medien wurde eine ergänzende Form von Lernmöglichkeiten geschaffen, die wie alle neuen Errungenschaften in ihren Anfängen gewisse Nachteile mit sich brachten und ihren Einsatz in Frage stellten. Kritiker forderten die Entfernung von Computern aus der Schule und begründeten dies mit den hohen Anschaffungs- und Folgekosten, der zumeist geringen Qualität der Lernsoftware, der hohe Zeitaufwand der Bedienung der Geräte, die Verdrängung von Primärerfahrungen, dem erschwerten Kontakt zu Büchern und der geringen Medienkompetenz, die mit der Bedienung von Computern zu erwerben sei (vgl. WEITZEL 2004, 4). Die Rechtfertigung vom Einsatz Neuer Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht, besonders im Biologieunterricht ist, wenn man die neuesten Entwicklungen und Untersuchungen betrachtet, unbegründet. Die klassischen Medien wie Text, Bild, Film, Ton und sogar das Experiment können mit dem Computer bereits vollständig substituiert und auf ein technisches Gerät zentriert werden. Diese genannten Möglichkeiten wären jedoch noch keine Bereicherung für den Unterricht, sondern nur eine alternative Mediengestaltung. Der Zugang zum Internet bietet als Erweiterung dieser Bandbreite eine schnelle und flexible Informationsbeschaffung, ist aber, ganz abgesehen von den zu bewältigenden technischen Voraussetzungen, auf Grund der mangelnden Qualität und der unsystematischen Strukturierung des Angebots (vgl. SESINK 2000, 15) für Schüler von geringer pädagogischer und bildungsinnovativer Bedeutung.

Wirklich neue Lernerfahrungen und Lernmöglichkeiten bieten vor allem Computeranimationen und -simulationen. Die Funktion einer *Animation* besteht in der realen Darstellung eines Vorgangs. Diese externe Präsentation eines zu verstehenden Prozesses entlastet den Lernenden von der Aufgabe, zunächst eine Vorstellung von einer dynamischen Handlungsabfolge zu entwickeln und beugt zugleich einer Fehlinterpretation der Bewegungsrichtung des Ablaufs vor. Eine Weiterführung dieser Modellbildung sind interaktive Animationen oder auch *Simulationen* genannt. Die Interaktivität spiegelt sich darin wider, dass der Schüler die Eingabeparameter selbst festlegen und verändern kann und somit Ablauf und Ergebnis der Simulation dirigiert. Durch diese Art der Manipulation hat der Benutzer einen großen Anteil an der Lenkung und aktiven Gestaltung seines Lernprozesses. Im Gegensatz zu einfachen Animationen, deren Ziel die Visualisierung von Prozessen ist, wird der Simulation auch eine spezielle Wirkung im Hinblick auf das Verhältnis und die Ergründung von kausalen Zusammenhängen zugeschrieben, welches gerade durch die aktive Auseinandersetzung mit dem System erreicht wird (vgl. NERDEL 2002, 9).

Die Interaktivität erlaubt dem Schüler in die Simulation aktiv einzugreifen, gewisse Rahmenbedingungen zu verändern und die Auswirkungen seines Handelns zu analysieren. Die Abfolge der Vorgänge wird durch die Variation des Benutzers bestimmt. Dadurch erhält die Reise in die „virtuelle Realität“ einen entdeckenden Charakter und vermittelt dem Lernenden ein individuelles, problemorientiertes Vorgehen. „Animationen und Simulationen modellieren dynamische Abläufe und komplexe Zusammenhänge, die einer direkten Betrachtung nicht zugänglich sind. Einzig diese Möglichkeit, komplexe Systeme und/oder zeitlich lang andauernde Prozesse sichtbar zu machen und das in interaktiver Weise, ist eine Errungenschaft, die dem Computer eigen und mit anderen Mitteln nicht in gleicher Qualität zu erzielen ist“ (WEITZEL 2004). Problematisch an Simulationsprogrammen ist die begrenzte Bandbreite der Einstellungsmöglichkeiten und die eingeschränkte Anzahl der Handlungsalternativen, die der Theorie des zu lösenden Problems zugrunde liegen, sowie an den festgelegten Erklärungsmustern. Die Qualität einer Software wird durch das Maß der zur Verfügung stehenden Freiheitsgrade und Aktionsmöglichkeiten bestimmt (vgl. LINDNER-AFFLAND 2003, 45-46).

Das Thema Gentechnik und in diesem Zusammenhang der Einsatz Neuer Medien dürfen in einem *zeitgemäßen* Biologieunterricht der Sekundarstufe kaum fehlen. Den Inhalten im Gentechnikunterricht steht nur eine begrenzte methodische Auswahl zur Unterrichtsgestaltung zur Verfügung. „ Es gibt nur wenige Experimente, die es Schülern ermöglicht, durch praktisches Tätigwerden Primärerfahrungen zu sammeln“ (KRÜGER 2003, 27). Eine Reihe von Hemmnissen (technische Ausstattung, Sicherheitsansprüche, Dauer der Experimente, indirekte Nachweismethoden, schwierige Interpretation der Versuchsergebnisse; vgl. KRÜGER 2003, 29) erschweren das experimentelle Arbeiten im gentechnischen Biologieunterricht. Diese einschränkenden, methodischen Möglichkeiten führten zu einem großen Interesse an Alternativen und lassen die Arbeit mit dem Computern attraktiv erscheinen. Zusätzlich ist es die Aufgabe der Lehrkraft seinem Berufsethos nachzugehen und die Schüler „auf die Zukunft vorzubereiten“. Aber Neue Medien alleine führen nicht zwangsläufig zum lehrreichen und spannenden Unterricht. Ein schlüssiges und gut durchdachtes Unterrichtskonzept und ein interessant gestaltetes Lernangebot durch den Lehrer sind die Grundvoraussetzung für das Gelingen einer erfolgreichen Unterrichtsstunde.

Intension außerschulischer Lernorte für den Biologieunterricht

In den letzten Jahrzehnten kam es zu einer Unterrepräsentation der Naturwissenschaften in der Schulausbildung in Deutschland. Durch die Einrichtung von zentralen Experimentallaboren sollen die Schüler bis zum Abitur einen realistischen Eindruck von den Anforderungen für ein naturwissenschaftliches Studium erhalten.

„Vornehmliches Ziel außerschulischer Lernorte ist es, die Ausbildungsmöglichkeiten an den Schulen qualitativ zu erweitern. Die Ausstattung der Schulen und die Praxis der Stundenplangestaltung ermöglicht es den Fachlehrern nur begrenzt, einen modernen Experimentalunterricht zu gewährleisten. Hinzu kommt, dass die Fachlehrer selbst in der Regel nicht über Erfahrungen im wissenschaftlich-experimentellen Arbeiten verfügen, da in der

Lehrerbildung die Umsetzbarkeit von Experimenten den äußeren Rahmenbedingungen in den Schulen angepasst ist“ (NEHER 2002, 3).

Genetische Experimente erfordern eine entsprechende Infrastruktur und mit der Biologiesammlung ist es nicht getan. Die Geräte und Chemikalien müssen gepflegt, gewartet, erneuert und für die Versuchsdurchführung sorgfältig eingestellt und vorbereitet werden. Einfache gentechnische Experimente, die nicht den Anspruch haben Inhalte der Hochschule vorwegzunehmen, sind bereits sehr aufwändig und verlangen neben einer umfangreichen Sachkompetenz auch enorme Vorbereitungszeit. Damit sind Lehrer mit vollem Deputat schlichtweg überfordert. Ebenso wenig können Schulen die Finanzen für die teuren Geräte wie sie z.B. in einem Gentechniklabor zum Einsatz kommen aufbringen. Schülerlabore ersetzen den Experimentalunterricht in der Schule zwar nicht, sie ergänzen ihn jedoch in vortrefflicher Weise (vgl. HEINZERLING/LATZEL 2002, 1).

1.2.2 Rahmenbedingungen eines alternativen Vermittlungskonzepts zur Gentechnik im Unterricht

Ansätze und Vorschläge zur Einbindung praktischer Inhalte in der Gentechnik im Biologieunterricht der Oberstufe wird seit etwa 1995 in verschiedenen fachdidaktischen Zeitschriften, Schulbüchern, Lehrerhandreichungen oder anderen Fachbüchern immer wieder neu aufgegriffen, überarbeitet und ergänzt. Ebenso finden sich verschiedene Institutionen und Firmen, die Schülern mit eigens hervorgebrachten Initiativen den Zugang zur Thematik erleichtern wollen. So werden von der Industrie z.B. Schülerlabore eingerichtet, Experimentierkästen zusammengestellt oder Software entwickelt und dafür die entsprechenden Mittel freigegeben. Auf unzähligen Webseiten findet man im Internet bereits Unterrichtsvorschläge und Hilfestellungen, die leicht modifiziert direkt in den eigenen Unterricht integriert werden können. Damit ist das Spektrum der Möglichkeiten zur Materialbeschaffung für den Unterricht sehr weitreichend und es fehlt nicht an kreativen Vorschlägen und alternativen Entwürfen für einen abwechslungsreichen Praxisunterricht.

Schulbücher

Die Schulbücher³ geben Aufschluss über die Entwicklung experimenteller Anwendungsmöglichkeiten im Unterricht und wie sich der didaktische Ansatz bezüglich der Themenbehandlung Gentechnik in den letzten Jahren im Unterricht verändert hat.

DAUMER (1993 Bayerischer Schulbuch-Verlag), ein Pionier im Bereich der Vermittlung von Molekulargenetik im Unterricht, behandelt ausführlich die genetischen Grundlagen und impliziert einfache mikrobiologische Versuchsbeispiele. Die Anwendungsbereiche der Gentechnik werden bei ihm noch sehr kurz auf zehn Seiten ohne aufwendige bildliche Darstellungen theoretisch abgehandelt. Bei BICKEL (1995 Natura, Klett Verlag) und HAFNER/HOFF (1995 Materialien für den Sekundarbereich II, Schroedel Verlag) werden bereits konkretere Experimente vorgestellt, wie z.B. das Verfahren zur Herstellung *transgener Pflanzen* oder in der Humangentik das DNA-

³ siehe Literatur

Fingerprinting durch *Restriktions-Fragmentlängen-Polymorphismen* (RFLP) (MARSCHALL 1999, 47-50). Aber auch hier fehlt es an praktischen Unterrichtsbeispielen. Die ebenso bei FRANK/SOMMERMANN/STRÖHLA (1997 *Natura*, Klett Verlag) noch nicht vorhanden sind. Es finden sich zwölf Seiten mit übersichtlichem Bildmaterial zur Thematik. WEBER (2001 *Oberstufe Gesamtband*, Cornelsen Verlag) hat erstmals ein umfassendes Repertoire zur praktischen Anwendung aufgestellt. Grundlagen, Gentechnik in der Pflanzenzucht, in der Lebensmittelherstellung, bei Tieren, in der medizinischen Diagnostik und in der Medikamentenherstellung werden hier auf sechzehn Seiten dargestellt. Hinzu kommen Themen wie Gentherapie, Humangenomprojekt und eine kritische Diskussion am Beispiel von Bt-Mais. Zusätzlich wurden noch Arbeitsblätter, Klausuraufgaben und Abbildungen als Lehrerhandreichung in digitaler Form erstellt.

Der Band „Genetik - Grüne Reihe Materialien SII“ (BARON ET AL 2004, Schroedel Verlag) ist gerade erschienen und wurde somit für die Unterrichtsreihe nicht verwendet. Auch hier zeichnet sich ein deutlicher Trend zur experimentellen Vermittlung ab. Mit sechsundzwanzig Seiten hat das Buch die umfangreichste Ausführung des Themas, wodurch die zunehmende Bedeutung der Gentechnik im Unterricht verdeutlicht wird.

Schülerlabor

Das *XLAB - Göttingen Experimentallabor für Junge Leute e.V.* ist eine Einrichtung an der Universität Göttingen und bietet seit 1999 in allen naturwissenschaftlichen Disziplinen - Biologie, Chemie, Geowissenschaften, Informatik, Mathematik und Physik - eine Vielzahl von Experimentalpraktika für Schüler der Sekundarstufe I und II. Ein Schwerpunkt der Oberstufe für Biologie sind molekularbiologische Versuchsreihen, die für einen oder mehrere Tage ausgelegt sind. Besondere Kurse bietet das XLAB als einwöchige Praktika während der Ferien an. Die Zielgruppen sind Schulklassen, die mit ihrem Fachlehrer an vereinbarten Terminen zu unterrichtrelevanten Themen experimentieren können oder Oberstufenschüler, die an einwöchigen Kursen teilnehmen. Die Betreuung der Sekundarstufe I erfolgt durch Lehrer und technische Assistenten, in der Sekundarstufe II durch Wissenschaftler und wissenschaftliche Mitarbeiter.

Experimentierkasten

Roche Diagnostics hat den theoretischen Gentechnikunterricht durch einen Experimentierkasten ergänzt. *Blue genes* bietet den Schülern der Sekundarstufe II Gelegenheit, das Thema Gentechnik praktisch zu erfahren. Eine Projektgruppe, bestehend aus Vertretern der Schule, Hochschule und Industrie hatte sich zum Ziel gesetzt mit dem Versuchsbaukasten nicht nur einzelne Methoden der Molekularbiologie wie das Schneiden und Analysieren der DNA anzubieten, sondern darauf aufbauend auch die Möglichkeit der Durchführung eines vollständigen, anspruchsvollen Klonierungsexperimentes. Die Voraussetzung dafür, dass die angebotenen Methoden der Molekularbiologie problem- und gefahrlos in Schulen durchgeführt werden können ist, dass es sich bei dem Klonierungsexperiment um eine Selbstklonierung nach § 3 des Gentechnikgesetzes handelt. Theoretische Grundkenntnisse in der Gentechnik sind dazu ebenso

notwendig wie Fingerspitzengefühl beim Pipetieren (vgl. <http://www.roche.de/diagnostics/biochemica/bluegenes/index.htm> (18.08.2003)).

Simulationssoftware

Die vom *Bundesministerium für Bildung und Forschung*, dem *OFFIS* (Kuratorium Oldenburg), dem *Institut für Mikrobiologie der Universität Düsseldorf* und dem *Spektrum Verlag Heidelberg* entwickelte Software *GenLab* ist ein multimediales System zum Erlernen der theoretischen und praktischen Grundlagen der Gentechnik. Kernstück ist ein virtuelles Labor zur interaktiven und realitätsnahen Simulation gentechnischer Experimente. Im angrenzenden Seminarraum veranschaulicht eine umfangreiche Theoriekomponente die entsprechenden molekularbiologischen Abläufe und erläutert den richtigen Umgang mit den gängigen Laborgeräten und Reagenzien. Der Grundgedanke des Laborkonzeptes ist, Experimente am Computer so realitätsgetreu wie möglich durchführen zu können. (vgl. APPELRATH/SCHLATTMANN 2003). Die Software *GenLab* ist allerdings für Schüler einer gymnasialen Oberstufe zum Teil zu anspruchsvoll. Die vielen neuen Fachtermini und die unbekannte Laborkomponente bilden ein komplett neues Handlungsfeld. In der Software lassen sich jedoch einzelne Module bzw. Methoden (z.B. Restriktion, Ligation, Gelelektrophorese) auswählen, die durch eine genaue und ausführliche Einweisung der Lehrkraft für die Schüler umsetzbar sind und zugleich noch die Inhalte des Lehrplans berücksichtigen.

Lektüre wissenschaftshistorischer Darstellung

Die Einführung der Unterrichtseinheit Genetik, also die Grundlage für die Gentechnik, wurde mit Hilfe wissenschaftshistorischer Literatur unterlegt und problematisiert. So konnten die Überlegungen von WATSON und CRICK, aus einzelnen ihnen damals bekannten Bausteinen wie Zucker, Phosphat und Stickstoffbasen die DNA (vgl. WATSON 2003, 67) zu konstruieren und auch deren Irrwege bei der Modellkonstruktion (vgl. WATSON 2003, 94-95) bis hin zum „Dogma der Genetik“ (vgl. WATSON 2003, 143-144), nachvollzogen werden.

DAWKINS umschreibt den Aufbau der DNA, „die unsterblichen Spiralen“ (Dawkins 2002, 52-89), und die Eigenschaft der Gene metaphorisch. Die Schüler erhalten dadurch eine greifbarere Vorstellung der abstrakten Begriffe wie „Nukleotidalphabet“, „Chromosomenpaaren“, „Allele“, „Genpool“ oder generell die Verteilung der Gene auf einem diploiden Chromosomensatz.

Ergänzende Unterrichtsmaterialien

Pionierleistungen im Bereich praktischen Arbeitens mit gentechnischen Methoden für Schüler wurden besonders am *Leibnitz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften* (IPN) in Kiel geleistet. Das „Handbuch der praktischen Mikrobiologie und Biotechnologie“ Band 1 bis 4⁴ gibt u. a. wichtige Hilfestellung z.B. beim Bau einer Elektrophorese oder eines Brutschranks (siehe Sicherheit in Kapitel 1.5 und Abbildung im Anhang Arbeitsblatt 11 Gentechnik). Weiterhin hat sich das IPN durch die Internetpublikation EIBE - *European Initiative for Biotechnology Education* die

⁴ siehe Literatur

Aufgabe gestellt, durch einen neuartigen Unterricht in der Schule und Lehrerbildung das Verständnis der Biotechnik zu fördern.

Artikel über die Anwendung der Gentechnik in der Lebensmittelanalytik, die DNA-Auftrennung im Schülerexperiment (Restriktion und Gelelektrophorese von Phagen- und Plasmid-DNA), die Gewinnung von DNA aus Obst und Gemüse, die Gentechnik im Klassenzimmer mit Hilfe Neuer Medien, die Fleischuntersuchungen mit artspezifischen PCR-Primern, der Gentransfer in der Pflanzenzüchtung oder auch die ethischen Aspekte der Gen- und Fortpflanzungstechnik finden sich in biologiedidaktischen Zeitschriften wie *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule*⁵ oder in *Unterricht Biologie*⁶.

Außerdem gibt die *Fachberatung Biologie* und die *Firma Roche* im Internet⁷ wichtige und ausführliche Hinweise und Erfahrungsberichte zum Experimentieren mit *blue genes*.

Finanzierung

Die Kosten für das *blue genes* - Projekt, den *blue genes* Koffer 690,24 € (Bio-Rad Laboratories GmbH), das Reagenzienset 153,39 € (Roche Diagnostics GmbH) und die kompetenten Bakterien 80,27 € (Promega GmbH) sowie den Aufenthalt in Göttingen am XLAB und die Software *GenLab*, können weder von den Schülern noch vom Etat der Schule vollständig finanziert werden. Der Koffer war durch eine Spende bereits an der Schule vorhanden. Die weiteren Komponenten konnten mit Hilfe des *Fonds der Chemischen Industrie* (vgl. <http://www.vci.de/fonds> (10.09.2003)) und einem *Europaprojekt* realisiert werden. Die Schüler mussten somit nur einen geringen Eigenbetrag für die Anfahrt nach Göttingen leisten. Die Einsparung von Kosten steht immer einem zeitlichen Aufwand der Lehrkraft gegenüber. So ließen sich z.B. die kompetenten Bakterien mittels CaCl₂-Behandlung⁸ selbst herstellen, da aber die Durchführung eines solchen Praktikums sehr aufwändig ist, wäre für diese Zusatzbelastung im Schulalltag keine Zeit.

1.2.3 Konzeption der Unterrichtseinheit

Die Unterrichtsreihe zur Vermittlung gentechnischer Methoden umfasst vier zentrale Bereiche, die sukzessiv aufeinander aufbauen:

Damit sich die Schüler überhaupt mit der Thematik der Gentechnik auseinandersetzen können, benötigen sie ein umfangreiches Wissen im Bereich der Molekularbiologie und Genetik. Deshalb ist es notwendig, eine *sachliche und fachwissenschaftliche Grundkompetenz* zu erwerben, die weitgehend auch die Bandbreite der geforderten Lerninhalte erfasst und sich zugleich strikt, mit Aussicht auf das zukünftige Zentralabitur, an den Zielen des Lehrplans orientiert und in einem ersten Teil dieser Unterrichtsreihe vermittelt werden soll. Die Inhalte müssen so gewählt werden, dass sie eine sinnvolle Verzahnung mit der nachfolgenden Praxis ergeben und die verschiedenen Methoden soweit vorbereiten, dass eine ansprechende und ergiebige Arbeitsatmosphäre im praktischen Unterricht geschaffen werden kann. Wichtig ist, dass bei der Vermittlung der

⁵ PdN-Bio. 5/48. Jg. 1999, PdN-Bio. 7/51. Jg. 2002, PdN-Bio. 6/52. Jg. 2003

⁶ UB 209/19. Jg. 1995, UB 251/24. Jg. 2000, UB 291/28. Jg. 2004

⁷ <http://www.fachberatung-biologie.de>, <http://www.roche.de/diagnostics>

⁸ <http://www.biologie.de/Skripte/methodenprotokolle/html/Kompetente%20Zellen.htm>

Sachkompetenzen und auch der Arbeitsmethoden immer ein lebensweltlicher und sinnhafter Bezug für die Schüler besteht. Z.B. muss der Aufbau der DNA bekannt sein, um nachvollziehen zu können wie Restriktionsenzyme das Molekül zerschneiden. Dies wiederum ist notwendig, um zu realisieren, welche Möglichkeit sich dadurch für die genetische Veränderung von Mikroorganismen eröffnen (Insulinproduktion). Die verbindlichen Unterrichtsinhalte zur DNA sind im Lehrplan hierarchisch gegliedert (vgl. HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM 2003, 38) und vermitteln den Schülern umfassend die notwendigen Grundlagen für weitere Lernziele, so dass ich die Vorgaben und deren Abfolge bei der Planung direkt im Unterricht übernommen habe. Eine Schwerpunktsetzung ist sicher sinnvoll. Wichtig ist die Bakteriengenetik, da später im Praktikum mit *E. coli* gearbeitet wird und möglichst wenig Verständislücken diesbezüglich auftreten sollen. Ebenso ist eine klare Vorstellung vom Aufbau der DNA unumgänglich, um die Proteinbiosynthese oder die Inhalte im Praktikum besser nachvollziehen zu können.

Bei der Auswahl der verbindlichen *Labormethoden* lässt der Lehrplan großen Spielraum. Es sollen lediglich zwei Versuche ausgewählt werden (vgl. HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM 2003, 40). Die Polymerase-Kettenreaktion (PCR = polymerase chain reaction) ist eine Klonierungsmethode und hat die Gentechnik Mitte der 80er Jahre geradezu revolutioniert. Sie wird in vielen lebensweltlichen Bereichen eingesetzt und ist mittlerweile ein standardisiertes Verfahren. Die PCR wird z.B. in der HIV-Diagnose als besonders sensibles Nachweisverfahren zur Früherkennung eingesetzt. Ein direkter Virusnachweis mit der Methode ist dann schon möglich, wenn die Serodiagnostik gar keine oder keine schlüssigen Ergebnisse liefert, also schon vor der Antikörperbildung (vgl. LECKE/BRANER 1995, 36-37). Auch in der Archäologie „Wer war Ötzi?“ oder „Leben aus prähistorischer DNA?“ und in der Kriminalistik „Wer war der Täter?“ (DNA-Fingerprint) findet die PCR ihre Anwendung (vgl. JÄSCHKE/UHLMANN 2000, 40-44; GREBER/GREBER 1995, 38-43). Weiterhin ist sie ein Verfahren zur Bestimmung von Lebensmittelverunreinigungen, die im Zuge des BSE-Skandals, von Antibiotika in Lebensmitteln und dioxinverseuchter Hühner ihren Nutzen aufweist und dem kritischen Verbraucher gewisse Sicherheit durch sensitive Analysen von Lebens- und Futtermitteln geben kann (vgl. OEHKLE 2000, 45-48; ALTREHOEFER/LATUS 2000, 13 - 15). Die PCR bietet somit sehr interessante lebensweltliche Anknüpfungspunkte. Der theoretische Hintergrund ist jedoch sehr komplex und würde den zeitlichen Rahmen der Reihe überschreiten und m. E. die meisten Schüler überfordern. Außerdem ist eine praktische Umsetzung in der Schule kaum möglich, da die benötigten Materialien wie z.B. ein *Thermocycler* in aller Regel nicht vorhanden sind. Die wissenschaftshistorische Entwicklung der PCR führt über die *DNA-Rekombinationstechnik* und *DNA-Klonierung*, die ursprünglichere Verfahren der Gentechnik darstellen. Sie knüpfen an die Bakteriengenetik und somit an den natürlichen Gentransfer wie Konjugation, Transformation und Transduktion an und bilden grundlegende gentechnische Methoden. Den Schülern kann an dieser Stelle vermittelt werden, dass gewisse künstliche Formen der Genmanipulation identisch mit natürlich in der Natur vorkommenden Prozessen sind. Auch bei diesen Verfahren können praktische und lebensweltliche Bezüge hergestellt werden, die in der *Grünen Gentechnik* mit Hilfe von *Agrobacterium tumefaciens* ihre Anwendung finden (vgl. BAYRHUBER/LUCIUS 1997, 43-46; RUPPERT 1995, 27-30; SCHWARZFISCHER 1999, 1-8) und einen hohen

Erkenntniswert für die Schüler haben. Aus diesem Grund bietet sich die Anwendung des *blue genes* Koffers für den Unterricht an. Das Konzept sieht Restriktion, Gelelektrophorese, Ligation, Transformation, Selektion und Klonierung vor und bildet die Grundlage gentechnischen Arbeitens, woraus sich eine hohe Relevanz für die Schüler ergibt. Ein Nachteil umfasst die Verfügbarkeit des Materials. Nicht jeder Proband kann alle Arbeitsschritte, schon auf Grund des zeitlichen Aufwandes, durchführen, so dass eine Aufteilung verschiedener Vorgänge erfolgen muss. Weiterhin ist die Einhaltung eines angemessenen Kostenrahmens zu berücksichtigen oder zumindest eine ausreichende Finanzierung zu klären. Weiterhin muss das beigelegte Protokoll, welches eher den Charakter einer Lehrerinformation hat, m. E. auf die Lerngruppe angepasst werden.

In einer dritten Phase der Unterrichtseinheit soll mit Hilfe der *Simulationssoftware GenLab* der individuelle Umgang und die gesamte Verfahrensweise der DNA-Rekombinationstechnik und der DNA-Klonierung von *jedem* Schüler am Computer wiederholt und geübt werden. Der Umgang mit Computern im Unterricht stellt eine (noch) nicht alltägliche Situation für die Schüler dar, hat einen hohen Aufforderungscharakter, bietet motivierende Unterstützung des Lerngegenstandes und erfüllt zugleich die Ansprüche einer Medienerziehung. Auch hier ist es wichtig eine Kopplung zwischen methodischen Grundfertigkeiten und lebensweltlichen Bezügen herzustellen und „das neue Medium in ein übergreifendes didaktisch begründetes Konzept einzubetten“ (ESCHENHAGEN/KATTMANN/RODI 1998, 365). Grundvoraussetzung für den Einsatz des Programms ist eine umfassende „Medienlandschaft“, die ein effektives Arbeiten allein oder in Gruppen ermöglicht.

Da „in der Biologiedidaktik großer Wert auf die originale Begegnung und auf Handlungsorientierung gelegt wird“ (ESCHENHAGEN/KATTMANN/RODI 1998, 398) habe ich mich im vierten und abschließenden Teil der Unterrichtsreihe entschieden, den Schülern einen realitätsnahen und wissenschaftsorientierten Aufenthalt in einem Schülerlabor zu ermöglichen. Im XLAB in Göttingen können die Lernenden ihr bisher erworbenes Wissen konkret Anwenden und eigenständig „forschen“. Der Vorteil dieser Einrichtung ist, dass jedem Schüler ein Arbeitsplatz mit entsprechender Ausstattung zur Verfügung steht und individuelles experimentelles Arbeiten ermöglicht wird. Außerdem erfolgt die Betreuung durch sehr kompetente Wissenschaftler, die auch ein Gespür im Umgang mit Schülern haben. Die ausgewählten Versuche knüpfen direkt an den Gegenstand des Unterrichts an und bieten zudem, didaktisch reduziert, einen vertiefenden Einblick in forschende und experimentelle Laborarbeit. Den Schüler wird dadurch ein realistisches Bild dieses Arbeitsfeldes vermittelt und evtl. zukünftige berufliche Entscheidungen erleichtert. Der Planung und Durchführung dieses Vorhabens ist jedoch mit relativ großem organisatorischem Aufwand verbunden. Die Kapazität des Labors ist nicht unerschöpflich, so dass gerade in der Oberstufe eine Terminfindung nicht unproblematisch ist.

Mit diesen didaktischen Entscheidungskriterien, die sich eng am Lehrplan orientieren, werden Methodenkonzepte des exemplarischen Prinzips nach MARTIN WAGENSCHNIEDER weitgehend erfüllt. So können grundlegende Inhalte thematisiert (elementar), forschend-entwickelnde Ansätze umgesetzt (genetisch) und Realbezüge hergestellt (fundamental) werden (vgl. ESCHENHAGEN/

KATTMANN/RODI 1998, 43-44). Für die vielseitig experimentelle Verwirklichung und die Einbindung individuell bedienbarer Software ermöglicht die Durchführung der Einheit einen zumindest punktuell offenen Unterricht und lässt zugleich auch ein entdeckendes und wissenschaftspropädeutisches Lernen zu.

1.3 Lernziele

Die Schüler sollen die Bedeutung der Gentechnologie für die Biologie und deren Folgen für die Gesellschaft und den Einzelnen erläutern und anhand zweier Methoden fachgemäße, praktische Arbeitsweisen durchführen. Dabei soll ein Grundverständnis der biologischen Prinzipien gentechnologischer Vorgehensweisen erworben und mit Hilfe theoretischer Sachbezüge und Neuen Medien vertieft werden. Die Lernziele werden an dieser Stelle nur global formuliert und in Kapitel 2 zu Teillernzielen operationalisiert.

Materiale Lernziele

Die Schüler sollen

- historische Experimente zur Entschlüsselung der Funktion von DNA erklären und sie anhand theoretischer Versuche interpretieren.
- die Bakteriengenetik erschließen und den natürlichen Gentransfer von Bakterien und Viren gegenüberstellen.
- anhand von unterschiedlichen Modellen und Abbildungen die molekulargenetischen Prozesse an der DNA erklären und die Dynamik dieser Sachverhalte beschreiben
- mit Hilfe theoretischer Grundlagen methodische Arbeitsformen praktisch umsetzen und den wissenschaftlichen Nutzen und die biologische Erkenntnisgewinnung beschreiben.
- durch den Einsatz von Software gentechnologische Vorgehensweisen selbstständig erarbeiten und damit Medienkompetenz erwerben.
- einen lebensweltlichen Bezug anhand von Beispielen für die Verwendung der Gentechnik herstellen und deren Chancen und Risiken vergleichen.
- anhand eines konkreten Beispiels im Labor den Nutzen und die Möglichkeiten molekularbiologischen Arbeiten erklären.

Formale Lernziele

Die Schüler sollen

- gentechnische Methoden möglichst selbstständig durchführen und die Verantwortung für ihren Aufgabenbereich in der Gruppe übernehmen.
- dargestellte Sachverhalte, Phänomene und Experimente beschreiben und sie mit Hilfe ihres Sachwissens interpretieren.
- ihre zum Experiment aufgestellte Hypothese eigenständig oder in Gruppenarbeit überprüfen, die Ergebnisse festhalten und sie dem Plenum vorstellen.
- sowohl während der praktischen Arbeit als auch bei der Simulation am Computer in Kleingruppen kooperativ zusammenarbeiten und sich innerhalb dieser Gruppe austauschen.
- im Umgang mit den Laborgeräten vertraut werden und ein sicheres Arbeitsverhalten entwickeln.

- Diskussionen über nötige Arbeitsschritte miteinander führen und die Ergebnisse als Leitfragen formulieren.

Affektive Lernziele

Die Schüler sollen

- die Vorurteile und Utopien, die in der gesellschaftlichen Diskussion vorliegen mit Hilfe der erworbenen Erkenntnisse genauer reflektieren, realistischer einschätzen, Offenheit entwickeln und eine Disposition für den verantwortungsvollen Umgang mit der Gentechnik beziehen.
- ethische Grundsätze in die Thematik einfließen lassen und ein verantwortungsloses Handeln überdenken und kritisch anzweifeln.
- Sicherheit bei der Präsentation von Ergebnissen gewinnen und Meinungsäußerungen bei dem kontroversen Unterrichtsgegenstand im Plenum frei äußern.
- wissenschaftliche Grundsatzdiskussionen und aktuelle Streitpunkte zu diesem Thema in den Medien inhaltlich mitverfolgen und dazu Position beziehen.

1.4 Methodische Entscheidungen

Aus den zugrunde liegenden didaktischen Überlegungen eines praxisorientierten Genetik- bzw. Gentechnikunterrichts unter Zuhilfenahme von Modellen, diverser Experimente und eines Simulationsprogramms werden nun die Vorgehensweisen dargestellt, die für diese Unterrichtseinheit prägend sind. In Kapitel 2 werden einige Methoden exemplarisch konkretisiert. Im Verlauf der Reihe werden diverse Medien und Materialien in unterschiedlicher Weise eingesetzt, die fast alle einen handlungsorientierten Unterricht zum Ziel haben und zugleich dem Schüler eine methodische Vielfalt bieten, die ihn zu eigenständigen Arbeiten führen soll. Durch die Gliederung des Unterrichts in verschiedene Phasen, sind die Ansprüche an die Probanden methodisch unterschiedlich. Daraus ergibt sich eine Vermittlung von Methodenkompetenzen, die einmal für den allgemeinen Lernprozess generell und für die Arbeitsformen in der Gentechnik speziell wichtig sind.

Weiterhin zu berücksichtigen ist auch die Rolle des Lehrers, die je nach Unterrichtsphase einen anderen Stellenwert einnimmt. Die Funktion des Lehrers wird durch Begriffe wie Assistent, Mentor oder Initiator beschrieben. Der Assistent unterstützt den Lernenden bei seiner Tätigkeit. Der Mentor gibt den Schülern Hilfestellungen, Vorschläge bei Arbeitsprozessen und steht ihm als Berater zur Seite. Der Initiator hat die Aufgabe in Sachverhalte einzuführen, Probleme darzustellen, motivierende Anreize zu geben oder eine Moderatorfunktion in Unterrichtsgesprächen zu übernehmen.

Sozialformen

Die Unterrichtseinheit ist auf Grund ihres Umfangs und der vier verschiedenen Schwerpunkte von einer Vielfalt von Sozialformen geprägt. Durch das praktisch orientierte Grundkonzept der Reihe fällt es leichter binnendifferenzierte Maßnahmen in den Unterricht einfließen zu lassen und in längeren Experimentierphasen besonders die soziale Kompetenz in *arbeitsgleichen* oder *arbeitsteiligen Gruppenarbeiten* zu fördern. Die praktischen Versuchsmethoden, die in der Schule

durchgeführt werden, erfolgen in selbstorganisierten Kleingruppen, die ihre Ergebnisse abschnittsweise dem Plenum vorstellen und interpretieren. Diese Ordnungsform ist durch das begrenzte Experimentiermaterial vorgegeben. Auch beim Einsatz der Simulationssoftware ist auf Grund der eingeschränkten Computerstationen und fünf Einzelplatzlizenzen auch ausschließlich Gruppenarbeit möglich. Im Labor sind pro Arbeitsplatz jeweils zwei Schüler vorgesehen, so dass hier *Partnerarbeit* durchgeführt wird, was durchaus sinnvoll ist, da die Schüler noch nicht die nötigen Fertigkeiten besitzen die Arbeitsschritte ohne Hilfe eines Partners durchzuführen (z.B. Eppendorf-Gefäße öffnen und gleichzeitig pipettieren). Ebenso werden Arbeitsblätter und das entwickeln von Modellen meist in *Partner-* gegebenenfalls in *Gruppenarbeit*, die sich durch die Sitzordnung (Gruppentische) geradezu anbietet, bearbeitet. Im *Klassenunterricht* können nach fragend-entwickelten Verfahren Sachverhalte vermittelt und in kontroversen Diskussionen, die die Thematik reichlich bietet, von den Schülern verschiedene Standpunkte bezogen und gegenüber gestellt werden.

Modelle und theoretische Grundlagen

Das Bilden von Modellen ist neben dem Beobachten und Experimentieren eine weitere grundlegende Erkenntnismethode. Hartmut von Hentig hält „das Modelldenken für das Leben in der von Wissenschaft und Technik rationalisierten Welt für unerlässlich, um den Schüler auf die wissenschaftliche Rationalität einzustellen und rationale Prozesse von irrationalen zu unterscheiden“ (MEYER 1990, 6). Modelle erleichtern das Erfassen von Sachverhalten und das Lösen von Problemen, heben die wesentlichen Teile realistischer Gegenstände deutlich hervor und dienen der Veranschaulichung von Strukturen und Prozessen (vgl. ESCHENHAGEN/KATTMANN/RODI 1998, 331). Die Komplexität und der hohe Abstraktionsgrad der Molekulargenetik bereiten den Schülern oft große Probleme. Abbildungen haben besonders bei biochemischen Abläufen den Nachteil, dass sie zu statisch sind und kein realistisches Bild von dynamischen Prozessen liefern. „Moosgummimodelle“ (siehe Kapitel 2) haben den Vorteil, dass verschiedene Formen aus dem „Rohmaterial“ ausgeschnitten und je nach Gebrauch als Struktur- oder Funktionsmodell eingesetzt werden können und an einer nassen Tafel haften bleiben. Weiterhin baut die Firma *molymod*[®] molekulargenetische Modelle, die sich z.B. für die Vermittlung zum Aufbau der DNA oder der Proteinbiosynthese eignen.



Abb. 1: Modell der DNA (links) und der Translation (rechts)

Mit Hilfe solcher konstruierten Modelle sollen genetische Grundlagen, wie die semikonservative Replikation, die Transkription, die Translation, der genetische Code und auch die Restriktion

dargestellt werden. Der Aufbau der DNA wird zusätzlich noch mit wissenschaftshistorischer Literatur (WATSON 2003) unterlegt. Zu einem späteren Zeitpunkt werden die Moosgummimodelle nochmals zum veranschaulichen rekombinater DNA, dem Restriktion-Ligationsprozess sowie der Genregulation (Operon-Modell) benötigt. Je nach Themenschwerpunkt wird das entsprechend erstellte Modell auf einem Tisch ausgebreitet und im Kreisgespräch der Unterrichtsgegenstand erarbeitet, wobei die Schüler mit geringen Vorgaben den Vorgang selbstständig entwickeln sollen. „Durch das „In-die-Hand-Nehmen“ und Begreifen wird die Vorstellungskraft unterstützt und das Abstrakte antiabstrakt“ (MEYER 1990, 7). Mit Hilfe von angefertigten Arbeitsblättern (siehe Anhang) erfolgt eine Festigung und Sicherung des Lerngegenstandes.

Gentechnische Methoden

Die praktische Durchführung vollzieht sich in unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden, vom Leichten zum Schweren, vom Einfachen zum Komplexen, vom Anschaulichen zum Abstrakten. Somit kann eine sukzessiv aufeinander aufbauende Kompetenz wissenschaftlicher Methoden gesichert werden. Als Einstieg *untersuchen* die Schüler DNA einer Tomate (nach SIMONS ET AL. 2003, 23-26) und isolieren diese aus Zellen, was einer entdeckenden, induktivistischen Vorgehensweise (vom Erkunden zum Entdecken) entspricht (vgl. ESCHENHAGEN/KATTMANN/RODI 1998, 214). Der erste Versuch von *blue genes*, die Restriktion und Gelelektrophorese der Plasmid-DNA (vgl. auch GROTJOHANN 2003, 17-19), ist ebenfalls induktivistisch ausgelegt, hat aber bereits *experimentellen* Charakter und soll die Schüler in wichtige gentechnische Methoden (pipettieren, steriles Arbeiten, protokollieren) einweisen. Die anschließende Durchführung der Klonierung (Herstellung rekombinater DNA: *lacZ* in Plasmid *pBR322*) und Selektion (Ausplattieren transgener Bakterien auf Agarplatten mit X-Gal) ist hypothetisch-deduktiv, da hier bereits Hypothesen z.B. zur Funktion gentechnisch veränderter Organismen formuliert werden können. *Blue genes* dient ausschließlich dem reinen Methodenlernen, wobei die Versuche auf einer abstrakten Ebene bleiben und ein lebensweltlicher Kontext nur bedingt vorgesehen ist. Die Aufgabe der Lehrkraft besteht nun darin, diese Bezüge herzustellen und mit den Schülern praktische Anwendungsmöglichkeiten zu erarbeiten. Dies kann anhand des enzymatischen Abbaus von Milchzucker durch Mikroorganismen bei Laktoseintoleranz erfolgen (ROESNER 2002, 26) oder wie in dieser Unterrichtsreihe durch den Einsatz von *Agrobacterium tumefaciens* zur Herstellung schädlingsresistentem, transgenem Mais. Einen weiteren praktischen Anwendungsbezug bietet die RFLP-Methode, die von *blue genes* weitgehend inhaltlich vorbereitet und z.B. zur Diagnose der Sichelzellanämie eingesetzt wird (s. u. Laboraufenthalt). Die beiliegenden Arbeitsblätter von *blue genes* habe ich schülergerecht modifiziert, da sie m. E. für die Lerngruppe zu schwierig und unübersichtlich erschienen.

Computer

Um die Lernerfahrungen und die Lernchancen der Schüler methodisch zu erweitern und die praktisch durchgeführten Versuche von *blue gene* zu festigen, wird mit Hilfe der Software *GenLab* ein virtuelles Genlabor simuliert, das ohne Gefahr und ohne Sicherheitsvorschriften den Schülern

realitätsnah gentechnisches Arbeiten erlaubt. Die Voraussetzungen eines offenen, handlungsorientierten Unterrichts sind damit weitgehend erfüllt, da die Schüler ohne Gefahr und Fehler mit negativen Folgen eigenständig arbeiten können.

So sollen die Lernenden in Gruppenarbeit mit diesem Programm im Modul *ViPMap* z.B. Anzahl, Art und Position der Restriktionsschnittstellen, von bestimmten Plasmiden und entsprechend ausgewählten Restriktionsenzymen übersichtlich darstellen und mit der Funktion „Gel“ die Banden auf einem Agarosegel ablesen (siehe Abb. 2).

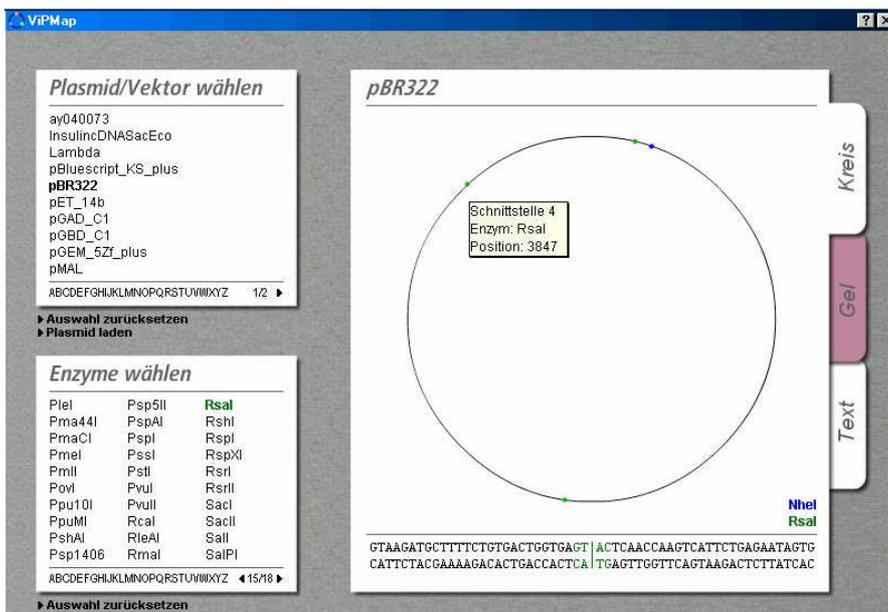


Abb. 2: *pBR322* mit *RsaI* und *NheI* geschnitten, wie im *blue genes* - Experiment

Im eigentlichen Laborbereich lassen sich verschiedene Experimente wie Restriktion, Gelelektrophorese, Transformation und Ligation durchführen, wie sie auch schon von *blue genes* bekannt sind. Mit der Software hat jedoch jeder Schüler die Möglichkeit alle Arbeitsschritte eigenständig durchzuführen, da Material und Kosten keine Rolle spielen. Eine Alternative wäre auch das Programm als Vorbereitung für *blue genes* einzusetzen, um die einzelnen Versuche und Arbeitsschritte einzüben.

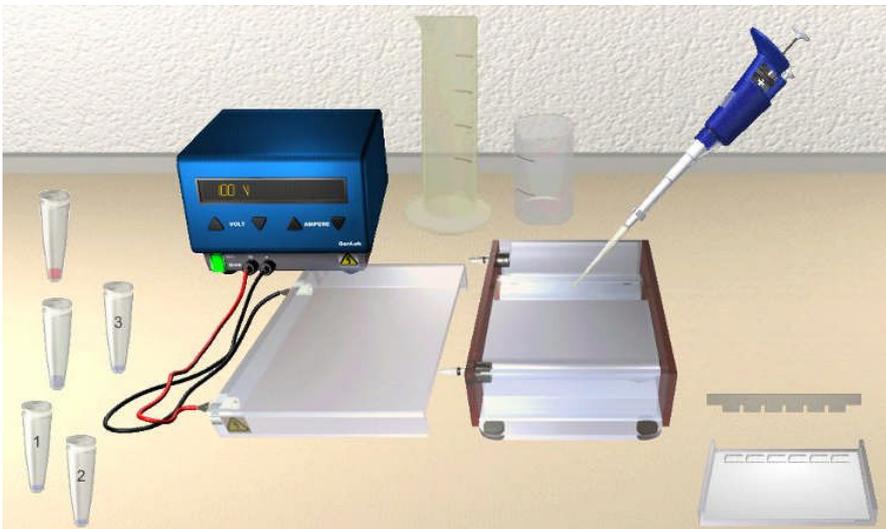


Abb. 3: Gelelektrophorese im virtuellen Genlabor

Laboraufenthalt

Im Gegensatz zur Schule können im XLAB für *alle* Schüler optimale Experimentierbedingungen geschaffen und die erlernten Methoden aus dem Unterricht anhand konkreter Probleme individuell umgesetzt werden. Bei der Sichelzellanämie wird durch eine Punktmutation im Codon 6 des β -Globin-Gens zufällig eine Restriktionsschnittstelle für das Restriktionsenzym *Xba I* zerstört. Das Wildtypgen und das mutierte Gen werden in *E. coli* expremiert. Durch eine *alkalische Lyse* isoliert man die Plasmide und mittels RFLP können die DNA-Fragmente des Wildtyps und der Mutante in einem Agarosegel gegenübergestellt und verglichen werden. In einem zweiten Versuch mikroskopieren die Schüler die Mutante der Fruchtfliege *Drosophila* (wurde vor den Einheit Gentechnik im Unterricht besprochen) und beobachten durch „Anfärben“ der mRNA (*in situ-Hybridisierung*) die Embryonalentwicklung.

Leistungskontrolle

Klausur

Eine Klausur ist Bestandteil dieser Unterrichtsreihe und wurde von mir mit den entsprechenden Arbeitsmaterialien und einem Erwartungshorizont mit vorgegebener Punktzahl entworfen (siehe Anhang). Der Inhalt umfasst den ersten theoretischen Teil dieser Reihe von der Bakteriengenetik (Transferteil) und Virengenetik (problemlösenden Denken) bis einschließlich der Proteinbiosynthese (reproduktiver Teil) (siehe Kapitel 1.6 Stundenverlaufsplan). Damit werden alle drei *Anforderungsbereiche* wie sie auch im Abitur verlangt werden mit einbezogen. Die Korrektur erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Mentor und die Vergabe der Notenpunkte erfolgt nach der Verordnung über die Bildungsgänge und die Abiturprüfung in der gymnasialen Oberstufe und dem beruflichen Gymnasium (VOGO/BG) vom 19. September 1998 (ABl. S. 734) in der Fassung vom 22. Mai 2003 (ABl. S. 338) § 14 Abs. 4 Anlage 8.

Unbewerteter Test

Der Test (siehe Anhang) bezieht sich auf die Inhalte des Schulpraktikums mit den gentechnischen Versuchen des *blue genes* Koffers. Er umfasst hauptsächlich Fragen, die sehr kurze, offene Antworten erlauben. Der Test wird nicht angekündigt, nicht benotet, individuell innerhalb von etwa 20 Minuten durchgeführt und soll den unmittelbaren Wissensstand der Schüler repräsentieren.

Sicherheit

Bei der Planung der Unterrichtsreihe habe ich die Anlage 2 „Richtlinien für Sicherheitsmaßnahmen beim Experimentieren und bei praktischen Arbeiten im Unterricht“, der „Zweiten Verordnung zur Änderung der Verordnung über die Aufsicht über Schülerinnen und Schüler vom 23.9.1997 (AufsichtsVO) - aktualisiert durch die Dritte Verordnung zur Änderung der Verordnung über die Aufsicht über die Schülerinnen und Schüler vom 14.9.1998“ beachtet. Für den Bau eines Thermoregulators und einer Elektrophorese habe ich besonders Absatz 8 „Umgang mit elektrischer Energie“, für die gentechnischen Experimente mit *E. coli* Absatz 14 „Umgang mit Bakterien, Viren und Pilzkulturen“ und für den Aufenthalt am XLAB Absatz 16 „Gefahren an

außerschulischen Lernorten“ berücksichtigt. Nach der „Verordnung über die Sicherheitsstufen und Sicherheitsmaßnahmen bei gentechnische Arbeiten in gentechnischen Anlagen (Gentechnik-Sicherheitsverordnung - GenTSV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. März 1995 (BGBl I S. 297) geändert am 16. August 2002, BGBl I S. 3220 zuletzt geändert am 22. März 2004, BGBl I S. 454“ stellt der Vektor *pBR322* im Zusammenhang mit *E. coli K12* nach § 6 Absatz 4 und 5 eine „biologischen Sicherheitsmaßnahme“ dar. Das Klonierungsexperiment von *blue genes* unterliegt jedoch *nicht* dem § 3 Absatz 3 „Gesetz zur Regelung der Gentechnik (Gentechnikgesetz - GenTG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. Dezember 1993 - BGBl. I S. 2066“, da es sich um eine Selbstklonierung handelt und das genetische Material des Organismus nur in einer Weise verändert worden ist, wie es auch unter natürlichen Bedingungen vorkommt.

Beim Bau eines Brutkastens aus Styropor (siehe Abbildung im Anhang Arbeitsblatt 11 Gentechnik) musste das Überhitzen und die evtl. Brandgefahr der Box ausgeschlossen werden. Deshalb wurde ein Relais mit angeschlossenem Themosensor gebaut und zum Regulieren der Temperatur am Brutkasten angebracht. Auch hier wurden die oben genannten Sicherheitsbestimmungen (Richtlinien für Sicherheitsmaßnahmen beim Experimentieren und bei praktischen Arbeiten im Unterricht Absatz 8.7) einbezogen.



Abb. 4: Thermoregulator (Selbstbau)



Abb. 5: Brutkasten (nach Bayrhuber)

Evaluation

Neben der Evaluation von Schülerleistung soll auch die Rolle des Lehrers aus Schülersicht beurteilt werden. Weiterhin wichtig ist eine Auswertung der dargebotenen Vermittlung von Unterrichtsinhalten durch die verschiedenen Methoden. Die Schüler sollen am Ende der Einheit mittels eines anonymen Fragebogens (siehe Anhang) Stellung zum durchgeführten Unterricht beziehen.

1.5 Stundenverlaufsplan⁹

Stunde	Inhalt
1. + 2. Stunde (DS)	Einstieg: Genetik und Gentechnik - Heil oder Unheil der Menschheit?, Möglichkeit und Chancen Wie kommt es zum Informationsaustausch? - GRIFFITH und das „transformierende Prinzip“, S- und R-Stämmen von Pneumokokken an Mäusen (Transformationsexperimente) AVERY auf der Suche nach der Erbsubstanz, DNA als Träger der genetischen Information
3. Stunde (ES)	Wiederholung: Aufbau von Bakterien (chromosomale und extrachromosomale DNA) Theoretisches Experiment von LEDERBERG und TATUM mit zwei Mangelmutanten von <i>E. coli</i>
4. + 5. Stunde (DS)	Konjugation - Einführung in die natürliche Rekombination von Bakterien (Fertilitätsfaktor: F ⁺ - F ⁻ - Zelle, Hfr, Crossing over, Pilusbildung) Theoretische Versuch zum Nachweis der Notwendigkeit des Zellkontakts nach LEDERBERG und TATUM
6. + 7. Stunde (DS)	Wiederholung: Aufbau von Viren , verschiedene Virentypen, lytischer und lysogener Zyklus Theoretischer Versuch Genübertragung durch Viren: Transduktion
8. Stunde (ES)	„Das Objekt der Begierde“ Jede Tomate ist eine Gentomate - Isolation von DNA aus Tomaten
9. + 10. Stunde (DS)	50 Jahre DNA nach WATSON und CRICK: Ein historischer Abriss, Modellierung der DNA-Doppelhelix aus Base, Zucker und Phosphat, komplementäre Stränge und CHARGAFF-Regel, multimediale Darstellung (vgl. Doppelhelix 2001)
12. + 13. Stunde (DS)	Theoretisches MESELSON-STAHLE-Experiment: die semikonservative Replikation . Modellhafte Entwicklung des molekularen Mechanismus der DNA-Replikation (Replikationsgabel, Helicase, DNA-Polymerase, Primase, Primer, OKAZAKI-Fragment, Ligase, kontinuierliche und diskontinuierliche Synthese in 5'→3' Richtung)
14. Stunde (ES)	Proteinbiosynthese: Dogma der Genetik: DNA → RNA → Protein - Vom Gen zum Genprodukt. Ein-Gen-ein-Polypeptid-Hypothese, Bausteine der Proteine
15. + 16. Stunde (DS)	Modell zur Transkription: RNA-Polymerase, Promotor, codogener Strang, mRNA-Synthese (Start-Elongation-Termination) Die Entschlüsselung des genetischen Codes ¹⁰ : Start- und Stopp-Codon, Triplett-Code, universell, degegenertiert, kommafrei, nicht überlappend
17. + 18. Stunde (DS)	Modell der Translation: Ribosom (2 Untereinheiten 30S und 50S UE, rRNA), tRNA (Aminosäureanheftungsstelle, Anticodon), Peptidbindung
19. Stunde (ES)	Restriktionsenzyme: Zerschneiden der Plasmid-DNA an bestimmten Erkennungssequenzen („glatte“ und „klebrige Enden“), Rückreaktion durch Ligasen
20. + 21. Stunde (DS)	Klausur
22. + 23. Stunde (DS)	Blue-GenesProjekt: Einweisung in die Arbeitsmaterialien, Sicherheitsbelehrungen, Schneiden des Plasmids <i>pBR322</i> mit dem Restriktionsenzym <i>RsaI</i> , Virtueller Restriktionsverdau mit dem Computerprogramm <i>GenLab</i> (ViPMap), Vorbereitung des Agarose-Gels, Gelelektrophorese
24. Stunde (ES)	Anfärben des Gels und Auswertung der DNA-Banden beider Gruppen, theoretische Grundlagen der Elektrophorese
25. + 26. Stunde (DS)	Klonierung: Schneiden des Plasmids <i>pBR322</i> mit dem Restriktionsenzym <i>NheI</i> , Ligation des lacZ-Gens mit dem linearisierten Plasmid <i>pBR322</i> → rekombinates Plasmid, Herstellung der Selektionsplatten (Agarböden), X-Gal als Farbmarder, IPTG als Induktor des β-Galaktosidase-Gens
27. + 28. Stunde (DS)	Transformation der Bakterien mit ligiertem Plasmid <i>pBR322</i> , Transformation der Kontrollansätze, Ausplattieren der Bakterien auf den Agarplatten mit einem Drigalskispatel, Bakterienplatten für 24 h bei 37°C in den Brutschrank
29. Stunde (ES)	Qualitative und quantitative Auswertung des Klonierungsversuchs (Anzahl der Kolonien auf den Selektionsplatten), Ligationsmöglichkeiten: religierter Plasmidring, neukombinierter Plasmidring, ligiertes lacZ-Gen

⁹ Die dunkel unterlegten Zeilen sind Stunden, die im nächsten Kapitel genauer beschrieben werden.

¹⁰ GREBER, E./ GREBER, W.: Die Entschlüsselung des genetischen Codes. In: Unterricht Biologie 244/23 (1999), 32-38.

30. + 31. Stunde (DS)	Das Operon-Modell: Genregulation bei <i>E. coli</i> nach JACOB und MONOD → Bezug zum Klonierungsversuch Leistungsüberprüfung: unbewerteter Test, Evaluationsbogen
32. + 33. Stunde (DS)	Einweisung in das Programm GenLab , Wiederholung einzelner gentechnischer Sachverhalte durch Animationen, Transformation im virtuellen Labor
34. Stunde ¹¹ (ES)	Simulation gentechnischer Methoden und deren praktische Bezug am Beispiel transgener Pflanzen (künstlicher Gentransfer mit <i>Agrobacterium tumefaciens</i>), Restriktion, Gelelektrophorese und Ligation im virtuellen Labor (<i>GenLab</i>)
34. + 35. Stunde (DS)	Weitere Möglichkeiten des Gentransfers (Mikroinjektion, Elektroporation, Liposomen, Partikelbeschuss), Anwendungsmöglichkeiten der Gentechnik am Menschen (somatische Gentherapie (Adenoviren bei Mukoviszidose) vs. Keimbahntherapie)
	Laboraaufenthalt in Göttingen am XLAB (Sichelzellanämie und Embryonalentwicklung von <i>Drosophila</i>)

¹¹ Unterrichtsbesuch

2 Durchführung exemplarischer Stunden

In diesem Kapitel werden zwei Unterrichtsstunden und die Lernsituation am XLAB näher dargestellt. Sie beinhalten aus dem ersten theoretischen Teil die modellhafte Entwicklung des molekularen Mechanismus der DNA-Replikation und aus dem experimentellen Teil die Simulation gentechnischer Methoden und deren praktischen Bezug am Beispiel transgener Pflanzen. Das Methodenlernen mit Hilfe der *blue genes* Experimente wird hier aus Platzgründen nicht dargestellt. Auf der beiliegenden CD sind aber einige Eindrücke festgehalten. Die Methoden kamen im Genlabor wieder zum Einsatz und werden in diesem Zusammenhang mit der genetischen Analyse der Sichelzellanämie dargestellt.

2.1 12. + 13. Stunde: Semikonservative Replikation der DNA bei prokaryotischen Organismen - ein molekularer Prozess

Einordnung der Stunde in die Unterrichtseinheit

Im Zuge der Bakteriengenetik haben die Schüler in vorangegangenen Stunden die Funktion der DNA als Speicherung von Information in Form von Genen kennen gelernt. Anhand theoretischer Experimente wurden einige wichtige Eigenschaften des Genaustausches erläutert. Im Anschluss folgten der detaillierte Aufbau und die Zusammensetzung der Erbinformation. Einige wichtige chemische und physikalische Eigenschaften wurden am Modell besprochen.

In den beiden Folgestunden sollen die Schüler aus verschiedenen Hypothesen der DNA-Verdopplung eine verifizieren und den molekularen Mechanismus der DNA-Replikation mit Hilfe eines Funktionsmodells im Gruppengespräch erarbeiten.

Didaktische Überlegungen

Das Bakterium *E. coli* besitzt ein einziges Chromosom aus ungefähr 5 Millionen Basenpaaren. Unter günstigen Bedingungen teilt sich die Zelle in weniger als einer Stunde. Das menschliche Genom hat dagegen 46 Chromosomen und umfasst damit etwa 6 Milliarden Basenpaare. Im Einbuchstabencode (ATCG) auf Papierseiten gedruckt entspricht dies etwa 1000 Büchern von denen jedes so dick wäre wie das Telefonbuch von Frankfurt. Die Zellen benötigen jedoch nur wenige Stunden, um diese große Anzahl von Nukleotide zu synthetisieren, an den richtigen Ort zu transportieren, in der entsprechenden Reihenfolge anzuordnen und zu verbinden. Die DNA verdoppelt sich etwa mit einer Geschwindigkeit von 1000 Nukleotiden pro Sekunde (ALBERTS ET AL. 2004, 274). Unter einer Milliarde kopierter Nukleotide ereignet sich etwa ein Fehler, der durch präzise und sehr sensitive Reparaturenzyme meist behoben werden kann (vgl. CAMPBELL 2000, 316). Äußere Einflüsse wie z.B. UV-Strahlung, Zigaretten, Alkohol und andere kanzerogene Stoffe schwächen diese Reparatursysteme, so dass die Häufigkeit von Mutation steigt. Besonders die Zellen der Keimbahn müssen vor häufigen Mutationsereignissen geschützt werden. Nukleotidaustausche in somatischen Zellen können rasch dazu führen, dass sie sich auf Kosten „gesunder“ Zellen vermehren und zum unkontrollierten Zellwuchs *Krebs* führen, an dem in Europa etwa 30 % der Bevölkerung stirbt (vgl. ALBERTS ET AL. 2004, 273). So verfügt die Zelle

gleich über mehrere *Fehlpaarungs-Korrekturlesemechanismen*. Diese Darstellung zeigt die Wichtigkeit und die Präsenz der DNA-Verdopplung und DNA-Reparatur in der Biologie und welche Rolle sie auch für unser eigenes Leben bzw. Überleben spielt. In indirektem Zusammenhang haben die Schüler schon von der Replikation erfahren. Die Jahrgangsstufe 11 umfasst den Bereich der Cytologie der u. a. auch die Mitose beinhaltet (vgl. HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM 2003, 35). Während der S-Phase (S = Synthese) wird das Erbmateriale verdoppelt, was nichts weiteres als eine Replikation ist. Somit findet man über die Zellteilung einen Einstieg in die Thematik und kann zum Teil auf das theoretische Vorwissen der Schüler zurückgreifen oder daran anknüpfen.

Bei der Fortpflanzung von Mikroorganismen muss das genetische Material vervielfältigt werden, chromosomale DNA einfach und Plasmide oft mehrfach. Damit die Schüler den nachfolgenden molekularen Mechanismus der Replikation verstehen, dass es also einen Leitstrang gibt, der vollständig repliziert wird und einen Folgestrang der fragmenthaft verdoppelt wird, müssen sie das Grundprinzip der semikonservativen Replikation verinnerlichen. Der komplementäre Aufbau der DNA ist den Schülern bereits bekannt, eine gegenläufige Verdopplung können sie jedoch daraus nicht ableiten. Die vertiefende Erarbeitung des Prozesses der semikonservativen Replikation geschieht hypothetisch. Dazu werden die drei Modelle, konservativer, semikonservativer und dispersiver Mechanismus gegenübergestellt. Das MESELSON-STAHLEXPERIMENT gibt Aufschluss über die Lösung. Zum Verständnis der Versuchsdurchführung müssen noch der Begriff Isotop wiederholt und die „CsCl-Dichtegradient-Zentrifugation“ eingeführt werden. Folgende Aussagen lassen sich bei der Interpretation der drei Modelle treffen:

Je schwerer die DNA, desto tiefer wandert sie in das Zentrifugenröhrchen ein. Bei der ersten Replikationsrunde im ^{14}N -Medium erzeugt eine Hybridbande von ^{14}N - ^{15}N DNA. Durch dieses Ergebnis ist das konservative Modell eliminiert. Eine zweite Replikationsrunde führt zu leichter als auch zu Hybrid-DNA, ein Resultat, wodurch auch das dispersive Modell beseitigt und das semikonservative Modell gestützt wird (vgl. CAMPBELL 2000, 315). Somit lässt sich die m. E. von den Schülern hauptsächlich geäußerte Hypothese der konservativen DNA-Verdopplung falsifizieren und zugleich das „wahre“ Modell ableiten.

Nun liegt es nahe, Ursachen für diese ungewöhnliche, vielfach unverhoffte Form der Synthese von genetischem Material zu finden. Daher ist es wichtig den molekularen Prozess der Replikation genauer zu untersuchen. Hier muss jedoch didaktisch reduziert werden, da viele Enzyme diese Reaktion beeinflussen und die Komplexität das Verständnis der Schüler weit übersteigt. Nicht nur die beteiligten Enzyme, sondern auch die gegenläufige Syntheserichtung der beiden Stränge, immer in 5'→3'-Richtung, ist entscheidend und hervorzuheben. Dies hat nämlich Ursachen für die Genauigkeit bzw. Fehleranfälligkeit der DNA-Replikation. Wenn es eine DNA-Polymerase gäbe, die die Nukleotidtriphosphate in 3'→5'-Richtung anheften könnte, dann würde nicht das neu hinzukommende Nukleotid, sondern das wachsende 5'-Ende des DNA Stranges die energiereiche Triphosphatgruppe tragen. Bei einem falsch eingebauten Nukleotid, könnte das Reparatursystem zwar den fehlerhaften Baustein durch Hydrolyse wieder entfernen, dadurch entstünde jedoch ein „energieloses“ Monophosphat-5'-Ende und die weitere Synthese würde sofort stoppen (vgl. ALBERTS ET AL. 2004, 280). Da bei den Schülern sicher die Frage auftritt, warum die DNA-

Polymerase den Leitstrang in die eine Richtung und der Folgestrang in die andere Richtung komplettiert, muss auf Grund der Komplexität des Erklärungsansatzes auch hier didaktisch reduziert werden. So ergibt sich für die Schüler trotz der vereinfachten Darstellung durch einige wenige, aber wichtige Enzyme und einer „trivialen“ Erklärung für die gegenläufige Synthese der DNA eine akzeptables Gesamtbild, das die Verdopplung der DNA bei der Zellteilung widerspiegelt.

Lernziele der Stunde

Die Schüler sollen mit Hilfe des MESELSON-STAHLE-Experiments aus den drei hypothetischen Modellen das einzig Richtige erschließen. Mit dem Hintergrundwissen einer semikonservativen Replikation sollen sie ein Funktionsmodell entwerfen, das vereinfacht den Syntheseprozess bei der DNA-Verdopplung durch Enzyme darstellt.

Materiale Lernziele

Die Schüler sollen

- die Funktion der DNA-Replikation nennen und sie auf den Zellteilungsprozess beziehen.
- die Methode der „CsCl-Dichtegradient-Zentrifugation“ und deren Anwendung bei verschiedenen Isotopen erklären.
- die Versuchsdurchführung des MESELSON-STAHLE-Experiments beschreiben und begründen, warum das semikonservative Modell verifiziert wurde.
- die Namen der beteiligten Enzyme bei der Replikation nennen und deren Zweck mit Hilfe eines Funktionsmodells erläutern.
- die Unterschiede der DNA-Synthese am Folgestrang und am Leitstrang erklären und eine Ursache nennen.

Formale Lernziele

Die Schüler sollen

- ihr Hintergrundwissen für die Ursachen einer Replikation anwenden.
- Hypothesen zum Mechanismus der DNA-Verdopplung vorschlagen und sich kritisch zum konservativen, semikonservativen und dispersiven Modell äußern.
- den dynamischen Vorgang der Replikation am Modell zum Teil selbst erarbeiten, bzw. eigenständig wiederholen.
- Modellbildungskompetenzen erwerben und aus dem Funktionsmodell ein individuelles Denkmodell entwerfen.

Methodische Überlegungen

Durch eine kurze Wiederholung der Mitose soll die Verdopplung aller Zellorganellen und somit auch des Kerns mit den Chromosomen im Lehrer-Schüler-Gespräch verdeutlicht werden. Der Zellzyklus wird an der Tafel fragend-entwickelnd erarbeitet und die S-Phase besonders hervorgehoben. In diesem Zeitabschnitt wird neues genetisches Material synthetisiert, das die Schüler auf den Teilungsprozess bei Bakterien und somit auch auf die Teilung von chromosomaler und extrachromosomaler DNA beziehen sollen. Mit dem Hintergrundwissen über den Aufbau der DNA sollen die Schüler Hypothesen über den möglichen Ablauf der Vervielfältigung formulieren. Im Anschluss daran werden an der Tafel das konservative, semikonservative und dispersive Modell gegenübergestellt und die möglichen Ansätze auf die Vorschläge der Schüler bezogen. Im kurzen Lehrervortrag wird die Dichtegradient-Zentrifugation für das folgende MESELSON-STAHN-Experiment erklärt und der Begriff Isotope von Schülern erläutert. Mit Hilfe des Arbeitsblattes (siehe Anhang Arbeitsblatt 6 Molekulargenetik) soll in Partnerarbeit nun nach der ersten Replikationsrunde das konservative und nach der zweiten Replikationsrunde die dispersive Hypothese falsifiziert werden, so dass sich die semikonservative Replikation als einzige Möglichkeit der Vervielfältigung herausstellt. Durch die Präsentation der Ergebnisse und eine Wiederholung wird dieser erste Unterrichtsabschnitt abgeschlossen.

Anhand der Erkenntnisse des ersten Teils können nun von den Schülern Schlüsse über den möglichen molekularen Mechanismus abgeleitet werden. Mit Hilfe eines Moosgummimodells (siehe Abb. 5) soll im Kreisgespräch der erste entscheidende Schritt herausgearbeitet werden - die Trennung der beiden DNA Einzelstränge und somit das Lösen der Wasserstoffbrückenbindung. Die weiteren enzymatischen Reaktionen müssen ansatzweise von der Lehrkraft dargestellt werden. Nach einer kurzen Erklärung folgt die Wiederholung am Modell, bei dem die Schüler jetzt selbst Hand anlegen sollen. Die Fixierung der zentralen Begriffe ist in Gruppenarbeit mit Hilfe eines Lückentextes (siehe Anhang Arbeitsblatt 7 Molekulargenetik) geplant.

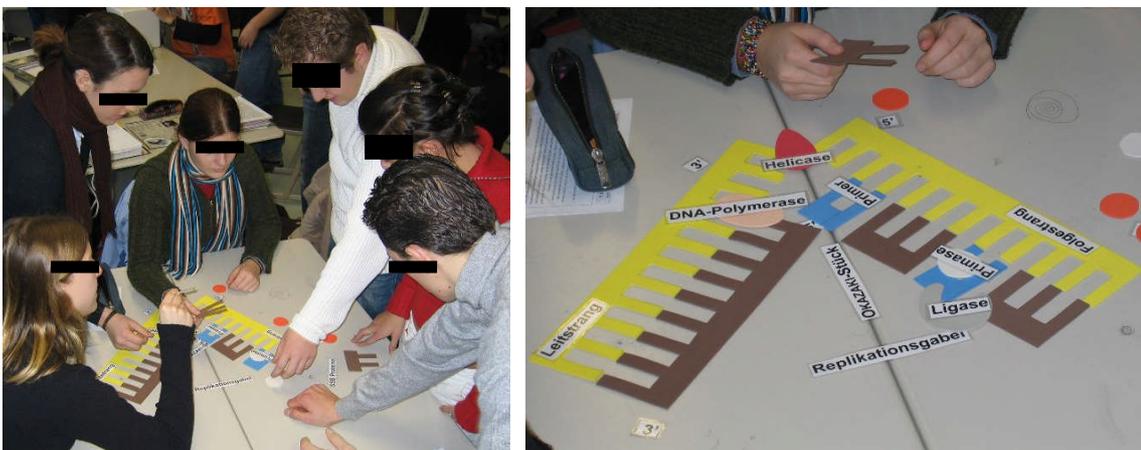


Abb. 6: Einsatz eines „Moosgummireplikationsmodells“ in einer Gruppenarbeit

Geplanter Stundenverlauf

Phase	Inhalt	Methode/Sozialform	Material/Medien
Einstieg	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Wiederholung der Mitose ➤ Zellteilung bei Einzellern 	L-S-G	Tafel
Erarbeitung I	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Hypothesen sammeln ➤ drei Modelle gegenüberstellen ➤ Dichtegradient-Zentrifugation ➤ Isotope 	L-S-G LV	Tafel
Vertiefung	➤ Herausarbeiten des einzig möglichen Replikationmodells der DNA	PA	Arbeitsblatt
Sicherung	➤ Präsentation des Ergebnisses und formulieren eines kurzen Textes	SV	Tafel
Erarbeitung II	➤ molekularer Mechanismus der Replikation	Kreisgespräch LV	Moosgummimodell
Sicherung	➤ Fixierung der wichtigen Enzyme und Begriffe	GA	Arbeitsblatt
Wiederholung und Festigung	➤ Fehlpaarung, Mutation, Korrektur	L-S-G	
Minimalziel			
Weiterführung	➤ Computeranimation ¹²		Computer, Beamer
Maximalziel			

Reflexion

Das Wiederholen der Mitose und die visualisierte Darstellung des Zellzyklus an der Tafel erwiesen sich als guter Unterrichtseinstieg, da mir trotz der lange zurückliegenden Unterrichtsinhalte der Gegenstand sehr präsent erschienen. So konnte der Grundgedanke der Stunde, die Verdopplung der DNA, allen Schülern deutlich hervorgehoben werden. Bei der Formulierung der Hypothesen wurden von mir jedoch zu wenige Informationen für die Aufstellung sinnvoller verschiedener Ansichten geliefert, so dass die Lernenden nur die „konservative Möglichkeit“ vorschlugen. Weitere Schwierigkeiten gab es bei der Durchführung und Vorgehensweise des MESELSON-STAHLEXPERIMENTS, die darin bestanden, dass die Bakterien erst eine ¹⁵N Nährstoffquelle besaßen und diese schweren Stickstoffatome in die Basen der DNA einbauten und später nur noch ¹⁴N. Diese Begebenheit hätte bei der Beschreibung des Experiments deutlicher sein müssen. Nachdem diese Unklarheiten beseitigt waren, verlief die Ergebnisdarstellung jedoch planmäßig, so dass das semikonservative Modell auf Grund der Resultate des Experiments bestätigt werden konnte. Die Erarbeitung des molekularen Replikationsprozesses mit Hilfe des Modells im Sitzkreis verlief ausgesprochen effektiv. Die Schüler zeigten großes Interesse, indem sie viele Fragen weit über die Lernziele hinaus stellten und waren durch den direkten Bezug zu den Moosgummis und durch die aktive Beteiligung hoch motiviert. Auch bei vorangegangenen ähnlichen Unterrichtsphasen mit solchen Modellen (Aufbau der DNA) konnte ein hohes Engagement von den Probanden verzeichnet werden. Das Ausfüllen des Lückentextes (siehe Anhang Arbeitsblatt 7 Gentechnik) und Wiederholung verlief somit ausgesprochen erfolgreich. Ein Schüler fragte abschließend noch nach der Geschwindigkeit der Replikation, so dass sich ein kurzes Unterrichtsgespräch bezüglich

¹² Die Zelle IV: Kern des Lebens - Vom Gen zum Protein. Göttingen 2003.

der Fehlpaarung bzw. der Mutationsrate und der sich daraus ergebenden Konsequenzen entwickelte.

2.2 34. Stunde: Virtuelle Simulation gentechnischer Methoden und deren praktischer Bezug am Beispiel transgener Pflanzen

Einordnung der Stunde in die Unterrichtseinheit

Bisher wurde Aufbau und Funktion der DNA sowie Mechanismen, die an der Erbsubstanz stattfinden, behandelt. Dabei legte ich besonderen Wert auf die Modellbildung der dynamischen Prozesse. Weiterhin wurden gentechnische Versuche und Methoden in den Unterricht implementiert und in Gruppenarbeiten erlernt (vgl. HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM 2003, 40). Bisher stand hauptsächlich die Vermittlung der Methoden im Mittelpunkt, d.h. die Schüler haben Erfahrungen mit dem Arbeitsmaterial und einzelnen Arbeitsschritten gesammelt und ihre feinmotorischen Fertigkeiten (pipettieren) erweitert, es fehlte jedoch an lebensweltlichen Bezügen. Die „grünen Gentechnik“ bietet einige Möglichkeiten z.B. transgene Mikroorganismen in der Landwirtschaft einzusetzen, um Nutzpflanzen gezielt mit gewünschten Eigenschaften auszustatten, sie also genetisch zu verändern.

Didaktische Überlegungen

Oft wird der genetische Fingerabdruck oder fachlich auch DNA-Profilung (BROWN 2002, 263) als Unterrichtsbeispiel in der Literatur vorgestellt. Dieses Verfahren, das u. a. in der Gerichtsmedizin eine große Rolle spielt, hat für die Schüler sicher motivierenden Anreize. Hier ist zu beachten, dass, wenn dies auf der Grundlage des etwas älteren Verfahrens der RFLP unterrichtet wird, das Prinzip der Southern-Hybridisierung bzw. des Southern-Blots mit radioaktiv markierten Sonden vermittelt werden muss. M. E. werden die Schüler durch die vielen neuen und komplexen Begrifflichkeiten überfordert.

Eine weitere sehr aktuelle und interessante Methode ist die PCR. Hiermit ließe sich auf der Grundlage der STRs (short tandem repeats) die „moderne“ Variante der DNA-Typisierung durchführen (BROWN 2002, 281, 364-367; GREBER/GREBER 1995; EIBE 2000, Einheit 2 16-23). Weiterhin könnte man spannende Problemstellungen wie z.B. die Untersuchung der sterblichen Überreste der Romanows (BROWN 2002, 368) und die Betrügerin Anna Anderson, die sich als falsche Tochter Anastasia des Zaren Nikolaus II von Russland ausgab, vorgeben oder die Isolation fossiler DNA für eine evt. „Neuschaffung der Dinosaurier“ (JÄSCHKE/UHLMANN 2000). Der Einsatz der Gentechnik mittels Multiplex-PCR (Brown 2002, 367) in der Lebensmittelanalytik (ALTEHOEFER/LATUS 2003; Feil 2003; OEHLKE 2000) wäre eine weitere Möglichkeit, um ein Anwendungsfeld der Gentechnik kennen zu lernen. Bei diesem Verfahren lassen sich Verunreinigungen einer bestimmten Wurst- oder Fleischsorte durch ein anderes tierisches Fleischprodukt nachweisen (siehe BSE-Skandal). Die Auflistung möglicher Anknüpfungspunkte verdeutlicht die Komplexität der Möglichkeiten und weist gleichzeitig darauf hin, dass sie nicht in ihrer Vielschichtigkeit im Unterricht bearbeitet werden kann. Weiterhin stellt sich die Frage, inwieweit diese komplexen Untersuchungen in der Schule ihre Berechtigung finden, wenn die

Anschaulichkeit solcher abstrakten Inhalte ohne praktische Versuchsmöglichkeiten umgesetzt werden sollen. PCR-Kits zur Fleischuntersuchung können zwar käuflicher für Schulen erworben werden (OEHLKE 2000), sind aber auf Grund der hohen Anschaffungskosten für den regulären Schulgebrauch inakzeptabel. Der Lehrplan gibt bezüglich der Inhalte keine konkreten Vorgaben, da hier nur allgemein auf „zwei Labormethoden“ (HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM 2003, 40) hingewiesen wird.

Im Rahmen des Praktikums der Einheit Gentechnik lernten die Schüler mit Hilfe von *blue genes* bereits zwei Methoden kennen, die Restriktions- und die Klonierungstechnik. Bei der Restriktion handelt es sich um ein relativ einfaches Verfahren, das in Kombination mit der Gelelektrophorese für Schüler der Oberstufe keine Überforderung darstellt, da einzelne Schritte sukzessiv erarbeitet werden und deutliche Ergebnisse liefern.

In der folgenden Stunde wird nun die Rekombination mit Hilfe der „grünen Gentechnik“ dargestellt. Mit diesem Verfahren soll die Methode des künstlichen Gentransfers am Beispiel von *Agrobacterium tumefaciens* vermittelt werden. Die Schüler erhalten eine praktische Anwendungsmöglichkeit für ein Verfahren, das sie im Praktikum kennen gelernt haben. Weiterhin wurde bereits die Bakteriengenetik durchgenommen, so dass der Aufbau von Bakterien und Plasmiden sowie Transformation- und Konjugationsprozesse den Schülern bekannt ist. Das Ti-Plasmid des „Ackerbakteriums“ kann mit neuen Eigenschaften bestückt werden. Dadurch wird das tumorinduzierende Gen entfernt und durch ein anderes ausgetauscht. Der neue Genabschnitt kann nun auf zweikeimblättrige Pflanzen übertragen werden, die dann die gewünschte neue Eigenschaft (Schädlingsresistenz, Ertragssteigerungen, verbesserte Inhaltsstoffe) exprimieren (RUPPERT 2000).

Lernziele der Stunde

Die Schüler sollen die methodische Vorgehensweise mit Hilfe eines Simulationsprogramms bei der Restriktion, Gelelektrophorese und Ligation nennen und den Nutzen dieser Methoden anhand des künstlichen Gentransfers auf Pflanzen beschreiben.

Materiale Lernziele

Die Schüler sollen

- erklären, welche Auswirkungen *Agrobacterium tumefaciens* auf die Kartoffelpflanzen hat und wie Informationen vom Bakterium auf die Pflanze übertragen werden.
- beschreiben, wie das Bakterium genetisch verändert werden kann, um der Pflanze gewünschte Eigenschaften zukommen zu lassen.
- die Arbeitsschritte bei der Restriktion, Gelelektrophorese und Ligation aufschreiben und erklären.
- Möglichkeiten der genetischen Veränderung nennen, die zu einer qualitativen oder quantitativen Verbesserung der Pflanzen führen.

Formale Lernziele

Die Schüler sollen

- die Ergebnisse der Gruppenarbeit mit Hilfe ihrer erstellten Folie dem Plenum vorstellen.

- den Computer als Hilfsmittel und als Ergänzung zum Praktikum einsetzen und sich gegenseitig an den neuen Medien unterstützen.

Affektive Lernziele

Die Schüler sollen

- die Gentechnik, in diesem Zusammenhang besonders die „Grüne Gentechnik“, objektiv bewerten, ihre Chancen wahrnehmen und sich zu eventuellen Gefahren äußern.
- anhand der außergewöhnlichen Methodenschulung am Computer Interesse an naturwissenschaftlichen Fragestellungen und die Erforschung naturwissenschaftlicher Probleme entwickeln.

Methodische Überlegungen

Durch die Entscheidung des oben aufgeführten didaktischen Zentrums ergibt sich ein problem- und zugleich ein handlungsorientierter Unterrichtsverlauf. Die Schüler müssen eine Lösung für die Problemstellung entwickeln und diese dann schülerzentriert in Gruppen praktisch am Computer anwenden. Dabei werden die Ergebnisse interpretiert und weitere Möglichkeiten erläutert.

Der Unterrichtseinstieg erfolgt durch einen Lehrervortrag (GREVING/PARADIES 2002, 37-40), der die Problematik der Stunde einleiten soll. Der Monolog wird durch zwei Folien unterstützt, die die wichtigsten Inhalte nochmals bildlich festhalten und somit die Aufmerksamkeit der Schüler unterstützen soll. Die erste Folie beinhaltet allgemeine Angaben zur gegenwärtigen und zukünftigen Nahrungsversorgung der Menschheit. Aus diesen Informationen ergibt sich die Fragestellung wie einer Unterversorgung bei steigender Population entgegengewirkt werden kann. Die zweite Folie enthält Informationen bzw. Abbildungen über den Einfluss von *Agrobacterium tumefaciens* auf die Kartoffelpflanze. Es ließe sich der Unterricht auch direkt über *Agrobacterium tumefaciens* einleiten. Damit fehle jedoch der lebensweltliche Bezug, auf den ich am Ende der Stunde nochmals zurückgreifen möchte.

Für die Schüler ergibt sich die Frage, wie das Bakterium die Pflanze manipuliert und zur Tumorbildung zwingt. Dieses Problem soll innerhalb eines Unterrichtsgesprächs erarbeitet werden. Mit Hilfe der Lösung lässt sich die Methode zur Herstellung rekombinanter Plasmide ableiten, die durch ein Moosgummimodell unterstützt werden soll. Hier könnte man alternativ auch eine Folienabbildung eines Ti-Plasmids verwenden. Mit den Moosgummis habe ich bisher jedoch sehr guter Erfahrungen in der Klasse gemacht und für eine prozesshafte Darstellung sind sie m. E. geeigneter.

Im Anschluss an die des Unterrichtsgesprächs folgende Gruppenarbeit wird mit Hilfe der Software *GenLab* die methodische Vorgehensweise in einem Labor simuliert. Die Begriffe Restriktion, Gelelektrophorese und Ligation sind den Schüler bereits bekannt. Es war jedoch organisatorisch nicht möglich alle Schüler im Praktikum sämtliche Arbeitsschritte durchführen zu lassen, so dass dieser Unterrichtsteil eine gute Ergänzung zur Praxis darstellt. Zudem haben die elektronischen Medien, wie bisherige Stunden belegen, einen auffordernden Charakter und bieten den Schülern einen motivierenden Anreiz. Kritisch bleibt jedoch die lineare Vorgabe der Versuche der Software,

die kein selbstständiges Denken fördern. Die Schüler sollen jedoch nicht nur den Ablauf der Durchführung auf Folie protokollieren, sondern auch den Sinn der einzelnen Schritte festhalten. Nach der Präsentation der Ergebnisse und der Sicherung sollen mögliche Beispiele genannt werden, welche Informationen rekombinate Plasmide haben können, um Nutzpflanzen sinnvoll zu verändern. Hier ist es meine Aufgabe, Impulse und weitere Hinweise zu geben. Abschließend wird nochmals Bezug auf die erste Folie genommen und die Legitimation von gentechnisch manipulierten Pflanzen diskutiert. Mit der Überleitung zu ethischen Gesichtspunkten ist das Minimalziel der Stunde erreicht und eine Anknüpfung in der Folgestunde gewährleistet, wo eine weitere Stufe der Gentechnik, die genetische Techniken am Menschen, behandelt werden soll. Das Maximalziel der Stunde beinhaltet ein Video zur Grünen Gentechnik in der das oben genannte Verfahren der Rekombination von *Agrobacterium tumefaciens* wiederholt wird.

Geplanter Stundenverlauf

Phase	Inhalt	Methode/Sozialform	Material/Medien
Einstieg	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Schilderung der Entwicklung der Weltbevölkerungszahlen und die Nahrungsmittelversorgung ➔ Wirkungsweise von <i>Agrobacterium tumefaciens</i> 	LV	Folie, Overhead
Erarbeitung I	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Erarbeitung des Mechanismus der Tumorbildung bei Pflanzen ➔ gezielte Steuerung der Übertragung von gewünschte Genen 	L-S-G	Tafel, Moosgummi
Sicherung I	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Methodische Vorgehensweise zur Herstellung rekombinater Plasmide 	EA	Tafel, Arbeitsblatt
Vertiefung und Auswertung	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Durchführung einer Simulation zur Restriktion, Gelelektrophorese und evtl. Ligation 	GA, SV	Computer, Folie, Overhead
Sicherung II	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Fixierung der Ergebnisse auf dem Arbeitsblatt 	EA	Arbeitsblatt
Erarbeitung II	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Veränderung von Nutzpflanzen 	L-S-G	Tafel
Minimalziel			
Wiederholung und Weiterführung	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Grüne Gentechnik an Kartoffel, Mais, Reis 	Demo	Video ¹³
Maximalziel			

Reflexion

Den Einstieg als Lehrervortrag zu gestalten erwies sich als gut, da ich die volle Aufmerksamkeit auf die Folien lenken konnte und somit die geschilderte Problematik allen Schülern deutlich wurde. Alternativ zum „reinen Zuhören“ der Schüler wäre auch das Anfertigen eines kurzen Protokolls möglich gewesen, um auf evtl. künftige Vorlesungen an der Universität vorzubereiten. Bei der Formulierung der Hypothesen für die Ursachen der Tumorbildung wurden äußerst einfallsreiche und auch unerwartete Vorschläge genannt. Ein Schüler erklärte sich die geschwulstartige Veränderung als eine Art Immunreaktion ähnlich der beim Menschen, was

¹³ Deutsche Agrarwissenschaft mbH: Grüne Gentechnik - Pflanzenzüchtung zwischen gestern und morgen. Bonn 2000.

biologisch durchaus seine Berechtigung hat. Nach der Hypothese eines Schülers, es handle sich um eine Transformation, lenkte ich die Gruppe zu schnell zum nächsten Schritt über, anstatt noch weitere mögliche Vorschläge zu sammeln. Die Funktion des Transformationsprozesses wurde von den Lernenden, auf Grund der Vorerfahrungen im Praktikum, schnell erkannt. Den Transfer von der Bakterienkonjugation auf den Genaustausch zwischen Bakterium und Pflanze erkannten jedoch anfangs nur die versierteren Schüler und musste durch Impulsfragen genauer erläutert werden. Die Ausarbeitung einer möglichen Umsetzung des Versuchs wurde zu kurz thematisiert. Die Hauptphase an den Computern entwickelte sich zu einer sehr eigenständigen Gruppenarbeit, in der sich die Schüler untereinander austauschten und gemeinsam Lösungswege entwickelten. Allerdings erwies sich der geplante Zeitrahmen etwas zu eng, so dass nur Restriktion und Gelelektrophorese, nicht aber die Ligation, erarbeitet werden konnten. Für einige leistungsschwächere Gruppen war somit die angesetzte Dauer zu kurz, so dass hier wichtige Informationen verloren gingen. Bei der Vorstellung der Ergebnisse durch Schülervorträge wurden die gewünschten Inhalte von Vertretern der Gruppe präsentiert. Die Ligation konnte im Gespräch kurz ergänzt werden. Bei der Reflexion dieser Anwendungsmöglichkeiten an Nutzpflanzen konnte der Bezug zu bt-Mais aufgegriffen werden. Mit der Frage eines Schülers, ob diese Methode bei anderen Pflanzen mit z.B. höheren Chromosomensätzen auch umsetzbar wäre, konnten Inhalte der Folgestunde (weitere Möglichkeiten des Gentransfers) kurz vorweggenommen werden. Lediglich zweikeimblättrige Pflanzen sind für *Agrobacterium tumefaciens* suszeptibel.

2.3 Laboraufenthalt am XLAB: Sichelzellanämie

Planung und Durchführung

Die Möglichkeit mit Schülern ein Experimentallabor oder eine universitäre Einrichtung zu besuchen, veranlasste mich, eine Internetrecherche zu betreiben. Dabei gelangte ich auf die Homepage des XLABs *das Göttinger Experimentallabor für Junge Leute*. Die Einrichtung verfolgt das Ziel, „den Übergang von Schule zur Hochschule im Bereich der naturwissenschaftlichen Fächer effektiver zu gestalten. Es will Berührungspunkt sein, an dem Wissenschaftstransfer stattfindet und an dem die Hochschule für Schüler und Lehrkräfte persönlich erfahrbar wird, während die Lehrenden der Hochschule ihre zukünftigen Studierenden und deren Unterrichtsbedingungen kennen lernen und von Unterrichtsproblemen durch die Fachlehrer selbst erfahren“ (OPPERMANN 2003, 4). Das Angebot auf der Internetseite gestaltet sich sehr interessant und vielseitig. Das XLAB bietet in allen naturwissenschaftlichen Disziplinen (Biologie, Chemie, Physik, Mathematik, Informatik und Geowissenschaften) eine Vielzahl von Experimentalpraktika, die halbtägig, ein- bis zweitägig oder in den Ferien auch ganzwöchig stattfinden. Darunter sind auch einige molekularbiologische Themen vertreten. Allein im Schuljahr 2002/2003 besuchten 1539 Schüler aus ganz Deutschland, die Abteilung Biologie und 4099 Schüler insgesamt experimentierten in alle sechs Bereichen (vgl. www.xlab-goettingen.de). Kurzerhand entschloss ich mich ein Wochenpraktikum in den Ferien zu besuchen, um mich von den Gegebenheiten zu überzeugen, herauszufinden welche Möglichkeiten mit einem Biologieleistungskurs umsetzbar sind und wie sich ein Aufenthalt in den Unterricht einbinden ließe. Im Praktikum wurden aktuelle

wissenschaftliche Erkenntnisse mit modernsten Methoden umgesetzt und es bot klassische gentechnische Experimente (Restriktion, Agarosegelelektrophorese, Ligation, alkalische Lyse, Herstellung kompetenter Zellen, Transformation, SDS-Page), die zum Teil sehr gut mein bisher geplantes Vorhaben ergänzen und unterstützen konnten. Auch die beteiligten Schüler zeigten großes Interesse an den angewandten Methoden und hatten sich durch die freundliche Art der Betreuer schnell an die neue Situation gewöhnt.

In Absprache mit der XLAB-Leitung wurden zwei eintägige Experimente vereinbart, die Diagnose der Sichelzellanämie und die Embryonalentwicklung bei *Drosophila*. Die beiden Versuche fanden in zwei Laboren statt, die für maximal 10-11 Personen vorgesehen sind und in denen die Schüler die Experimentierschritte in Partnerarbeit durchführen sollten. Somit mussten die 21 Probanden in zwei Gruppen aufgeteilt und die beiden Experimente im Wechsel durchgeführt werden. Für jeden Versuch war ein erfahrener Wissenschaftler vorgesehen, ich stand zur Unterstützung zur Seite.



Abb. 7: Experimentiermöglichkeiten am XLAB

Da für den Zeitraum des zweitägigen Aufenthaltes keine Klausuren in der Jahrgangsstufe 12 vorgesehen waren, erhielt ich von der Schulleitung ohne Probleme die sofortige Zustimmung meines Vorhabens. Auch die Seminarleitung des Studienseminars und die Fachleiterin sahen keinerlei Bedenken. Ebenso zeigte die Lerngruppe großes Interesse an diesem Praktikum.

Die Symptomatik der Sichelzellanämie ist den Schüler bereits aus dem Schulunterricht bekannt und in der Klausur wurden die Lernenden anhand einer Aufgabe bereits mit dieser Erbkrankheit konfrontiert. In den Schulbüchern (vgl. z.B. BARON ET AL 2004, 62) steht die Anämie oft im Kontext mit der *Ein-Gen-ein-Polypeptid-Hypothese* und wird im Zusammenhang mit Punktmutationen erwähnt. Eine praktische Problematisierung der Thematik ist im „normalen“ Unterricht auf Grund der Rahmenbedingungen jedoch nicht durchführbar. Die Schüler haben die Möglichkeit ein gentechnisches Diagnoseverfahren für diese Krankheit kennen zu lernen. Aus dem Praxisunterricht an der Schule sind den Lernenden einige Verfahrensweisen bereits bekannt, die auch hier ihre Anwendung finden. Der Vorteil besteht jetzt darin, dass jeder individuell das komplette Experiment mit allen notwendigen Materialien durchführen kann und nicht nur exemplarisch für eine ganze Gruppe einzelne Arbeitsschritte.

Die theoretische Darstellung der Problematik und Erklärungen zur Durchführung experimenteller Methoden erfolgt durch einen Wissenschaftler in Form von Kurzvorträgen im Seminarraum, zum Teil auch in fragend-entwickelnder Form. Die Schüler erhalten somit Eindrücke von universitären

Vermittlungsmethoden. Sie bekommen ein vierzehseitiges Skript (aus Platzgründen nicht im Anhang) mit den notwendigen Informationen ausgehändigt und können protokollartig weitere Vermerke notieren. Nach der Wiederholung vom Aufbau der Plasmide und der Lage einzelner wichtiger Standardgene erhalten sie die theoretischen Grundlagen der RFLP vermittelt. Im Anschluss daran sollen in Partnerarbeit folgende Telexperimente durchgeführt werden:

- Trennung bakterieller chromosomaler DNA von zirkulärer Plasmid-DNA (alkalische Lyse)
- Restriktions-Spaltung mit *XbaI* und *KpnI*
- Agarose-Gelelektrophorese (hier mit Ethidiumbromid, führt unter UV-Licht zu leuchtenden Banden; Sicherheitsbestimmungen wurden nach Laborvorschrift beachtet)

Die Versuchsanleitungen entnehmen die Schüler ihrem Skript und können bei Problemen die Wissenschaftler oder andere Aufsichtspersonen um Unterstützung bitten. Mit Hilfe eines Molekulargewichtsstandards sollen die Schüler diagnostizieren, welches Plasmid das mutierte β -Globin-Gen enthält (Ergebnis siehe Abb. 7).

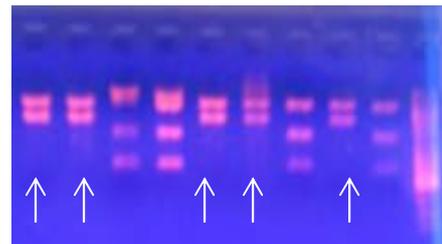


Abb. 8: DNA-Banden auf dem UV-Tisch

Reflexion

In der einleitenden Theoriephase konnten die Schüler den Vorträgen des Wissenschaftlers zum größten Teil folgen. Durch ihre Vorkenntnisse zur Sichelzellanämie antworteten die Schüler, wenn auch nur zögerlich auf Grund der noch fremdlichen Situation, auf die Fragen des Praktikumsleiters. Nach der Thematisierung von Vorkommen und Ursachenbegründung der Genkrankheit schloss sich gleich ein weiterer Theorieblock über die genauen genetischen Hintergründe an, was die Theoriephase für die Schüler insgesamt etwas zu lang werden ließ. Da die Lernenden das Labor bis dahin nicht gesehen hatten und das Interesse diesbezüglich ausgesprochen groß war, wäre eine kurze Einweisung z.B. in die Sicherheitsbestimmungen an dieser Stelle sinnvoll gewesen. Auch die Pipettierübungen, die vor jedem Praktikum zu Übungszwecken durchgeführt werden, hätten für einen nötigen Methodenwechsel gesorgt. Trotz dieser langen Einstiegsphase versuchten die Schüler aufmerksam zu folgen und m. E. konnte die Bedeutung der RFLP für die Diagnose der Sichelzellanämie von den Schülern nachvollzogen werden. Die selbstständige Vorgehensweise im Labor nach dem Skript entwickelte sich als ausgesprochen eigenständige Phase. Die beiden Partner erhielten die nötigen Reagenzien und arbeiteten sukzessiv die Versuchsanleitung durch. Wichtig hierbei ist nur, dass regelmäßig an entscheidenden Stellen kurze Reflexionsphasen eingelegt werden, da ansonsten die einzelnen Schritte abgehandelt werden ohne den Sinn darin zu erkennen. Beim Pipettieren während der Säulenchromatographie und besonders beim Auftragen der DNA auf das Gel entwickelten die Schüler eine größere Sicherheit beim Pipettieren und insgesamt einen selbstbewussteren Umgang mit den Chemikalien und Reagenzien. Durch den praktischen Bezug konnten auch nochmals die theoretischen Hintergründe wiederholt und gefestigt werden. Die Schüler wirkten motiviert und die Arbeitsschritte konnten nach Meinung des Betreuers überdurchschnittlich sicher und erfolgreich umgesetzt werden. Den Anspruch einer Wissenschaftsorientierung kann in diesem Fall voll

Rechnung getragen werden. Für eine wissenschaftspropädeutische Ausrichtung ist die Umsetzung jedoch zu systematisch. Es fehlt die kritische Reflektion und das hypothetisch-deduktive Vorgehen (vgl. ESCHENHAGEN/KATTMANN/ RODI 1998, 54).

3 Reflexion der Unterrichtseinheit

Zunächst sollen die Ergebnisse der Leistungskontrollen dargestellt werden und danach eine Auswertung der Evaluationsbögen stattfinden. Daraus erschließen sich konzeptionelle Stärken und Schwächen, die bei einer wiederholten Durchführung berücksichtigt werden können.

Auswertung der Leistungskontrollen

Klausur

An der Klausur haben 20 der insgesamt 22 Schüler teilgenommen. Die Notenpunkteverteilung ergab sich nach der Korrektur des Mentors und einer weiteren Verbesserung durch mich wie folgt:

Notenpunkte:	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Anzahl:	1	2	1	3	2	3	2	0	3	2	1	0	0	0	0	0

Daraus ergab sich ein Durchschnitt von genau 10 Notenpunkten. Grund für diesen relativ hohen Durchschnittswert sind vor allem die vier Noten im Bereich *sehr gut* (20 %), die jedoch auch, bis auf eine Ausnahme, die mündlichen Leistungen widerspiegeln, und keine Leistung, die im Bereich *mangelhaft* oder *ungenügend* liegen. Weiterhin konnten acht Klausuren (40 %) mit *gut* bewertet werden. Fünf Schüler (25 %) erreichten *befriedigende* Leistungen und drei Schüler (15 %) immerhin noch ausreichend. Aufgabe 1 (Bakteriengenetik) und besonders Aufgabe 2 (Virengenetik), wurden wie erwartet am wenigsten richtig beantwortet. Die Aufgaben 3 (Aufbau der DNA) und 4 (Replikation) wurden insgesamt sehr gut bearbeitet, stellten aber zugleich auch den einfachsten Anforderungsbereich dar. Besonders die DNA-Verdopplung wurde von auffällig vielen Schülern sehr ausführlich und mit Nennung aller wichtigen Enzyme dargestellt. Der genetische Code bereitete trotz vorheriger Übungsaufgaben einigen Schülern noch Schwierigkeiten, die Proteinbiosynthese hingegen weniger. Replikation und Proteinbiosynthese wurden gut dargestellt und jeweils im Unterricht am Funktionsmodell erarbeitet. Das ist für mich ein Indiz dafür, dass sich Inhalte mit dieser Unterrichtsmethode vorzugsweise einprägen.

Die Reihenfolge der Klausuraufgaben sollte zukünftig anders angeordnet, da es sich bei der ersten Fragestellung schon um einen Anforderungsbereich der Kategorie „Transfer“ handelt. Um den Schülern einen leichteren Einstieg in die Klausur zu ermöglichen, wäre eine Reproduktionsaufgabe zu Beginn psychologisch sinnvoller.

Eine Schülerin war zum Zeitpunkt der Klausur noch nicht in diesem Kurs. Eine fehlende Schülerin hat eine auch von mir konzipierte Nachholklausur (aus Platzgründen nicht im Anhang) geschrieben, die mit 8 Notenpunkten bewertet wurde.

Unbewerteter Test

Am Test haben 19 Schüler teilgenommen, die ohne Vorankündigung 12 Aufgaben zum Bereich Gentechnik anonym beantworten sollten. Für die Auswertung teilte ich die Tests in vier Kategorien ein: 1. weitgehend vollständig und richtig bearbeitet, 2. einzelne Aufgaben nicht bearbeitet und ansonsten keine Fehler, 3. einzelne Aufgaben nicht bearbeitet und vereinzelt falsche Ansätze und 4. große Lücken und fehlerhafte Bearbeitung.

Der ersten Kategorie habe ich sechs Kurztests (32 %) zugeordnet. Hier wurden alle Aufgaben weitgehend richtig beantwortet. Es konnten zum Teil nicht alle Ligationsmöglichkeiten in Aufgabe 5 genannt werden und der Begriff Strukturgen in Aufgabe 12 wurde vereinzelt nicht oder falsch erklärt. Zur Kategorie 2 gehören ebenfalls sechs Tests (32 %), wobei hier auffällig Schwächen bei Aufgabe 10 (Bakterienkolonien) zu erkennen waren. Auch der Begriff T-4 Ligase konnte von vier der sechs Schüler nicht richtig oder überhaupt nicht beantwortet werden (wahrscheinlich wegen des Zusatzes T-4). Kategorie 3 umfasst drei Tests (16%). Neben den aus Kategorie 2 genannten Mängeln sind besonders große Lücken in Aufgabe 2 zur Gelelektrophorese und bei der Kurzbeschreibung der Begriffe (Operator, Repressor, Proteinbiosynthese) in Aufgabe 12 aufgetreten. Die letzte Zuordnung umfasst vier Tests (20 %) und hebt sich deutlich von den Leistungen der anderen Tests ab, wobei sich mir die Frage stellt, ob diese gewissenhaft bearbeitet wurden. Schon bei Aufgabe 1 (Dogma der Genetik) und Aufgabe 2 (Was sind Restriktionsenzyme?) sind bei allen vier Tests Lücken vorhanden. Ebenso bei Aufgabe 6 (rekombinante DNA), 8 (kompetente Zellen), 10 (Bakterienkolonien) und 11 (Funktion von X-Gal).

Insgesamt wurde erreicht, dass sich über 50 % der Schüler sowohl nach dem Theorieteil und nach dem *blue genes* Projekt dieser Unterrichtseinheit im oberen Leistungsbereich einordneten und die geforderten Lernziele zum größten Teil erfüllen konnten. Dies kann zugleich als ein Nachweis für die effiziente Vorgehensweise im Unterricht und als eine Bestätigung der methodischen Alternativen gesehen werden.

Auswertung der Evaluation

19 Schüler haben sich an der Evaluation beteiligt und die acht Fragen des Bewertungsbogens m. E. sehr ehrlich und konstruktiv beantwortet.

Zu Frage 1, was den Schülern am Thema Gentechnik besonders gut gefallen hat, gaben zwölf Schüler das „Praktikum“ bzw. die „Versuche“ an. Sieben Schüler äußerten sich positiv über die „bildliche Darstellung der Abläufe“ und über den „Einsatz der Moosgummimodelle“. Zwei Schüler fanden besonderes Interesse an der „Verdopplung der DNA“ und „wie die Manipulation des Erbmaterials funktioniert“.

Zur Frage 2, wo die Schüler ihrer Meinung nach Langeweile bzw. Unverständnis empfanden, wurden „Wartephase“ im Praktikum, in der nicht „immer alle etwas zu tun hatten“ genannt und von zwei Schülern kam die Kritik „der Kurs sei zu groß“ für ein Praktikum. Unverständlich waren anfangs „manche Prozesse (Transkription)“ und die „vielen Fachbegriffe“.

Der Frage 3 zufolge würden die Schüler gerne mehr über „das Klonen“, „das gezielte Verändern und Einpflanzen von Informationen in Zellen“, „ das Einpflanzung bzw. Übertragung von DNA“, „das was in der Zukunft mit Gentechnik alles möglich sein wird“, „den genaueren Aufbau und die Struktur der DNA“ und „Transduktion“ erfahren.

Beim Einsatz der Moosgummimodelle (Frage 4) wurde anfangs besonders große Skepsis geäußert, da sie für die Oberstufe „zu verspielt“ wären. Doch letztlich waren alle Schüler davon begeistert, „da man sich alles räumlicher vorstellen konnte“, „Sachverhalte und Abläufe schneller verstanden werden konnten“ und „sie anfassen durfte“.

Zu den Vor- und Nachteilen des Schulpraktikums (Frage 5) äußerten sich die Schüler, „dass ein Eindruck entsteht, wofür man sein Wissen brauchen könnte und wie dieses Wissen genutzt wird“, „dass man die Arbeit von Forschern im Labor besser versteht und man besser nachvollziehen kann wie etwas funktioniert“. Weiterhin wurde gezeigt „wie ein Beruf im Genlabor aussehen könnte“ und „man bekommt einen Einblick in das Arbeiten mit der Gentechnik“. Der Nachteil war, dass „nicht alle Schüler das gleiche Material zur Verfügung hatten“ und „manche Versuchsabschnitte nur demonstriert werden konnten“.

Die Meinung über das Computerprogramm (Frage 6) war zweigeteilt. Einige Schüler befürworteten die Software, „die teilweise das praktische Arbeiten ersetzen kann“, „lange Wartezeiten vermeidet“, „der Realität sehr Nahe kommt“ und „eingesetzt werden sollte, wenn man nicht die Möglichkeit hat, die Versuche real durchzuführen“. Andere wiederum fanden „die Versuche ohne Computer viel spannender“ und „dass Computer die Praxis niemals ersetzen können“. Es sei „vielleicht eher etwas für zu Hause“.

Die Lehrkraft (Frage 7 und 8) konnte von „Zeit zu Zeit die Inhalte des Unterrichts immer besser vermitteln und erklären“. Sie hat sich „viel Mühe mit dem Unterricht gegeben“ und „hat Ausdauer und Geschick“ bewiesen. Dabei „flossen viele neue Gedanken und Ideen mit in den Unterricht ein“ und „die eingesetzten Hilfsmittel halfen beim Verständnis“. Eine „individuelle Gestaltung mit vielen neuen Ideen“ konnte umgesetzt und „neue abwechslungsreiche Lehrmethoden“ eingeführt werden. Es wurde „alles gut und leicht verständlich erklärt“, „vorhandene Fragen beantwortet“ und „auf Nachfragen erhielten die Schüler immer eine Antwort“. Weiterhin wurde „ein guter Bezug zu den Schülern hergestellt“. Die Lehrkraft konnte „anfängliche Unsicherheit abbauen“, wirkte aber „teilweise etwas unruhig und hektisch“. Einige Arbeitsblätter wurden „nicht ausführlich genug besprochen“. Es wäre sinnvoll „weniger Kopien“ auszuteilen und „manche Sachverhalte mit eigenen Worten aufzuschreiben“.

Beurteilung der alternativen Unterrichtsform

Die Evaluation verdeutlicht, worin die Schüler die Stärken und Schwächen dieser alternativen Möglichkeiten der Unterrichtvermittlung sehen und woran sich die Erfolge dieser Einheit messen lassen.

Bei der Vermittlung der theoretischen Grundlagen der Bakteriengenetik erwies sich die arbeitsgleiche Gruppenarbeit zur Bearbeitung der theoretischen Experimente als sinnvolle

Methode. Sie war zur Vorbereitung des folgenden arbeitsteiligen gentechnischen Experimentierens gedacht.

Das Kreisgespräch zur Vermittlung molekulargenetischer Prozesse mit Hilfe von selbst erstellten „Moosgummimodellen“ fördert den Austausch der Schüler bezüglich ihrer eigenen Erfahrungen und ihres Vorwissens. Der Stellenwert dieser Methode war bei den Lernenden unerwartet hoch und nicht vorhersehbar. Dynamische Prozesse wurden funktional veranschaulicht und Lernziele schneller erreicht. Leistungsschwache Schüler hielten sich jedoch verstärkt im Hintergrund und vermieden die Offenbarung ihrer eigenen Ideen vor der Gruppe. Das Einbeziehen dieser Modelle ist nur eine von vielen Methoden, die bei häufiger Anwendung ihren Reiz verliert und die Schüler vor dem „methodischen Spielzeug“ schnell abstumpfen lässt. Die Anfertigung solcher Modelle ist von großem Aufwand, so dass hier eine überaus hohe zeitliche Zusatzbelastung für die Lehrkraft entsteht.

Die praktische Durchführung der Experimente verfolgt den Anspruch eines handlungsorientierten Unterrichts, der „dem Schüler die Chance lässt, selbst die Verantwortung für das Lernen zu übernehmen“ (JANK/MEYER 1991, 341). Die Auswertung des Gels nach der Restriktion und der Gelelektrophorese stellte somit keine Probleme dar und konnte erfolgreich umgesetzt werden. Die Durchführung der Klonierung und die Selektion der Kolonien konnte anhand des Skripts unproblematisch und zum größten Teil selbstständig durchgeführt werden. Die selektive Eigenschaft des Antibiotikums wurde von den Schülern ebenso gut erkannt. Die Interpretation der Blaufärbung einzelner Kolonien stellte sich jedoch als schwierig heraus, da der Grundmechanismus des Operon-Modells soweit nicht verinnerlicht wurde. Somit war es schwierig die Funktion von IPTG als induzierende Substanz von β -Galaktosidase nachzuvollziehen und daraus zu schließen, dass das Enzym in der Lage ist das Substrat X-Gal zu spalten, wodurch ein blauer Indigofarbstoff freigesetzt wird. Das bedeutet zukünftig eine ausführlichere Erarbeitung der Substratinduktion und danach Verbindungen zwischen den einzelnen Substanzen der Genregulation am Operon-Modell und dem IPTG und X-Gal beim Klonierungsversuch herzustellen. Die Versuche direkt während der praktischen Methodenvermittlung, anstatt im Anschluss, in einen lebensweltlichen Kontext zu stellen wäre auch möglich, würde jedoch den vorgegebenen Zeitrahmen der Unterrichtsstunden überschreiten. Die zeitliche Belastung für die Lehrkraft ist, wenn das Praktikum im regulären Schulalltag durchgeführt wird, enorm. Der Aufbau der nötigen Reagenzien und Geräte, das Bereitstellen einiger Zusatzmaterialien (Eis) sowie die evtl. Veränderung der Tischordnung zum Experimentieren vereinnahmt jede Pausenminute. Und nicht nur der Aufbau, sondern auch wieder der Abbau bis zum Stundenende fordert einen großen Aufwand. Ein sinnvolles Alternativkonzept wäre, das Praktikum nachmittags anstatt der Vormittagsschulstunden in einem Blockpraktikum stattfinden zu lassen.

Die Implementierung der Simulationssoftware gestaltet die Praxis methodisch vielfältiger, ergänzt sie und erlaubt offenere Unterrichtsphasen. Die Schüler erarbeiten die Inhalte selbstständig ohne Gefahr zu laufen folgenreiche Fehlschritte zu verursachen, was zu einer motivierenden Probierfreudigkeit führt. Die Gruppenarbeit vor den Computern gestaltete sich als kooperatives Gemeinschaftsprojekt, das differenzierte Handlungsmöglichkeiten erlaubt. Bei zukünftiger

Kostenersparnis wäre eine rein simulative Umsetzung vorstellbar, wobei die Originale schon allein wegen der feinmotorischen Arbeitsschritte und der Nähe zum Objekt zu bevorzugen wären.

Der Besuch eines Schülerlabors gab den realitätsnahen Bezug zur Berufswelt wieder und ermöglichte forschend Probleme mit den bisher in der Schule erworbenen Erkenntnissen und Methoden zu lösen, so dass den Schülern der Sinn ihres Lernprozess begreiflich wurde. Viele Bezüge konnten zu den Unterrichtsinhalten hergestellt, die eine oder andere Lücke gefüllt, Methoden gesichert und neue Erkenntnisse hinzugewonnen werden. Zu berücksichtigen bleibt auch hier der Aufwand, der die Planung und Durchführung begleitet. Weiterhin sind die Kosten nicht unerheblich, weniger die des Labors, sondern vielmehr die der Fahrt nach Göttingen. Labore hier in der Umgebung gibt es einige, aber keines erfüllt m. E. diese optimalen Voraussetzungen und zeigt ein solches Engagement, wenn es um die Betreuung von Schülergruppen geht.

Fazit:

Mit der theoretischen Vermittlung einzelner grundlegender historischer Versuche, über die Erarbeitung molekularer Grundlagen, das praktische Erlernen einfacher gentechnischer Methoden und die Unterstützung simulativer Experimente am Computer bis hin zur praktischen, realitätsnahen Anwendung des Lerngegenstandes ergibt sich ein roter Faden, der den Lernzielen, den Inhalten des Lehrplans und den Interessen der Schüler gerecht wird. Weiterführende Überlegungen gibt es an unterschiedlichen Stellen. So könnte mehr Raum für die Fundierung theoretischer Kenntnisse, die Vertiefung von Arbeitsmethoden, das selbstständige Forschen, eine Globalisierung des lebensweltlichen Kontextes und die Ausdehnung multimedialer Inhalte geschaffen werden. Der zeitliche Aufwand der Lehrkraft für den Bau der Modelle, die Einarbeitung in die Versuche und die Planung des Laboraufenthaltes war in dieser Einheit besonders groß. Einmal vorbereitet entsteht ein umfassendes Konzept, das auch zukünftig mit weniger Aufwand eine interessante Umsetzung zulässt. Was bisher bleibt, ist diese Arbeit, die hoffentlich Impulse für weitere Ideen dieser Art liefern wird. Ich werde den Fortschritt der Gentechnik weiterverfolgen und besonders die Entwicklung von Simulationsprogrammen im Auge behalten, die ich in der Unterrichtsgestaltung für besonders zukunftsrelevant halte.

Literatur

- APPELRATH, H.-J. / SCHLATTMANN, M.: Gentechnik per Mausclick. Oldenburg 2003.
- ALBERTS, B. / JOHNSEN, A / LEWIS, J. / RAFF, M. / ROBERTS, K. / WALTER, P.: Molekularbiologie der Zelle. Weinheim 2004.
- ALTREHOEFER, H. / LATUS, N.: Wenn es um die Wurst geht. In: Praxis der Naturwissenschaften - Biologie 6/52 (2003), 13 - 15.
- BAYRHUBER, H. / HARMS, U. / KROB, A.: Handbuch der praktischen Mikrobiologie und Biotechnik. Band 4. Hannover 2001.
- BAYRHUBER, H. / LUCIUS, E. R.: Handbuch der praktischen Mikrobiologie und Biotechnik. Band 1. Hannover 1992.
- BAYRHUBER, H. / LUCIUS, E. R.: Handbuch der praktischen Mikrobiologie und Biotechnik Band 2. Hannover 1997.
- BAYRHUBER, H. / LUCIUS, E. R.: Handbuch der praktischen Mikrobiologie und Biotechnik. Band 3. Hannover 1992.
- BIALKE-ELLINGHAUSEN, J. / BENNERT, H. / HAUSMANN, E.: Somatische Gentherapie In: Unterricht Biologie 291/28 (2004), 42-44.
- BROWN, T. A.: Gentechnologie für Einsteiger. Heidelberg 2002.
- CAMPBELL, N. A.: Biologie. Heidelberg 2000.
- DAWKINS, R.: Das egoistische Gen. Reinbek bei Hamburg 2002.
- ESCHENHAGEN, D. / KATTMANN, U. / RODI, D.: Fachdidaktik Biologie. Köln 1998.
- FEIL, C.: Identification of meat species by PCR assay. Göttingen 2003.
- GERHARDT-DIRCKSEN, A. / DREESMANN, D.: Das Thema Gentechnik im Biologieunterricht. In: Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule 7/51 (2002), 1-2.
- GREBER, E. / GREBER, G.: Die Anwendung der PCR in Archäologie und Kriminalistik. In: Unterricht Biologie 19 (1995), 38-43.
- GREBER, E. / GREBER, W.: Die Entschlüsselung des genetischen Codes. In: Unterricht Biologie 244/23 (1999), 32-38.
- GREVING, J. / PARADIES, L.: Unterrichtseinstiege. Berlin 1996.
- GROTJOHANN, N.: DNA - Auftrennung im Schülerexperiment. In: Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule 6/52 (2003), 17-19.
- HÄCKER, B.: Gen-Welten - Leben aus dem Labor? Mannheim 1998.
- HEINZERLING, P. / LATZEL, G.: Kein Ersatz für Experimentalunterricht! In: Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule 8/51 (2002), 1.
- HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM (2003): Lehrplan Biologie. Gymnasialer Bildungsgang Jahrgangsstufen 5 bis 13.
- HINRICHS, R.: Gentherapie: Wie bringt man fremde Gene in Körperzellen? In: Unterricht Biologie 291/28 (2004), 50-51.
- JAENICKE, J.: Materialienhandbuch Kursunterricht Biologie Band 5/II Genetik (II). Köln 2000.

- JÄSCHKE, G. / UHLMANN, A.: Leben aus prähistorischer DNA? In: Unterricht Biologie 24 (2000), 40-44.
- JANK, W. / MEYER, W.: Didaktische Modelle. Frankfurt am Main 1991.
- KALITZKE, J.: Das Internet im Biologieunterricht der Oberstufe. Kassel 2003.
- KATTMANN, U.: Gene und Genetik. In: Unterricht Biologie 209/19 (1995), 4-13.
- KATTMANN, U.: Schöne neue Welt: Gen- und Fortpflanzungstechnik. In: Unterricht Biologie 291/28 (2004), 4-14.
- KLAWITTER, E. / SCHULZ, U.: Lehrerband Genetik und Immunologie. Ludwigsburg 1997.
- KNIPPERS, R.: Molekulare Genetik. Stuttgart 2001.
- KRAFT, L. / KÖNIG, C.-P.: Gentechnik - historischer Abriss und ethische Beurteilung. In: Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule 7/44 (1995), 1-8.
- KRÜGER, D.: Gentechnik im Klassenzimmer. In: Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule 6/52 (2003), 27 - 33.
- LANGLET, J.: Wissenschaft - entdecke & begreifen. In: Unterricht Biologie 268/25 (2001), 4-12.
- LECKE, K. / BRANER, J.: Die Polymerase-Kettenreaktion und die HIV-Diagnostik. In: Unterricht Biologie 209/19 (1995), 35-37.
- LINDNER-AFFLAND, M.: Voraussetzungen für den Einsatz des Computers. In: BICKEL-SANDKÖTTER, S. (Hrsg.): Computer, Internet & Co. im Biologieunterricht. Berlin 2003, 18-21.
- LINDNER-AFFLAND, M.: Simulationsprogramme. In: BICKEL-SANDKÖTTER, S. (Hrsg.): Computer, Internet & Co. im Biologieunterricht. Berlin 2003, 45-49.
- MARSCHALL, R.: Fingerabdruck ohne Fingerspuren. In: Unterricht Biologie 246/23 (1999), 47-50.
- MEYER H.: Modelle. In: Unterricht Biologie 160/14 (1990), 4-10.
- NEHER, E. M.: XLAB - Göttinger Experimentallabor für Junge Leute. In: Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule 8/51 (2002), 2-5.
- NERDEL, C.: Die Wirkung von Animation und Simulation auf das Verständnis von stoffwechselphysiologischen Prozessen. Kiel 2002.
- OEHKLE, U.: Wolf im Schafpelz? In: Unterricht Biologie 251/23 (2000), 45-48.
- OPPERMANN, T.: Das Göttinger Experimentallabor. In: XLAB (Hrsg.) Werbebroschüre. Göttingen 2003.
- PRENZEL, M. / SENKBEIL, M. / EHMKE, T. / BLESCHKE, M.: Leitfaden zum didaktischen Einsatz von Computeranwendungen. Kiel 2003.
- ROESNER, F.: Genetische Methoden im Biologieunterricht der Oberstufe. Ober-Hambach 2002.
- RUPPERT, W.: Gentechnik im Pflanzenschutz. In: Unterricht Biologie 19 (1995), 27-30.
- SCHARF, H. / SCHARF, E.: Modellversuche zur Gentechnik. In: Unterricht Biologie 251/23 (2000), 36-39.
- SCHWARZFISCHER, A.: Gentransfer in der Pflanzenzüchtung. In: Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule 5/48 (1999), 1-8.
- SESINK, W.: Bildung ans Netz. Implementierung Neuer Technologien in Bildungseinrichtungen. Wiesbaden 2000.

- SIMONS, A. / KIEDROWSKI, S. / LEVE, C. / DREESMANN, D.: Jede Tomate ist eine Gentomate. In: Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule 6/52 (2003), 23-26.
- STARK ABITURAUFGABEN: Abiturprüfungsaufgaben mit Lösungen - Biologie. Freising 2003.
- STAECK, L.: Zeitgemäßer Biologieunterricht. Berlin 1995.
- VOET, D. / VOET J. G.: Biochemie. Weinheim 1994.
- WATSON, J. D.: Die Doppelhelix. Reinbek bei Hamburg 2003.
- WEITZEL, H.: Medien aus Bits & Bytes. In: Unterricht Biologie 293/28 (2004), 4-10.

Schulbücher

- BARON D. / BRAUN, J. / ERDMANN, A. / ERDMANN, U. / HEINZE, R. / LUCIUS, E. (Hrsg.): Genetik. Grüne Reihe Materialien S II. Braunschweig 2004. Schroedel Verlag.
- BAYRHUBER, H. / KULL, U. (Hrsg.): Linder Biologie. Hannover 1998. Schroedel Verlag.
- BICKEL, H. ET AL.: Natura Biologie für Gymnasien. Band 3 Oberstufe. Stuttgart 1995. Klett Verlag.
- DAUMER, K.: Genetik. München 1993. Bayerischer Schulbuch-Verlag.
- FRANK, R. / SOMMERMANN, U. / STRÖHLA, G.: Genetik und Immunologie. Stuttgart 1997. Klett Verlag.
- HAFNER, L. / HOFF, P. (Hrsg.): Genetik. Hannover 1995. Schroedel Verlag.
- JAENICKE, J. / PAUL, A. (Hrsg.): Biologie Heute entdecken S II. Braunschweig 2004. Schroedel Verlag.
- SOLBACH, H. (Hrsg.): Vita Nova Biologie für die Sekundarstufe II. Bamberg 2000. C. C. Buchner Verlag.
- WEBER, U. (Hrsg.): Biologie Oberstufe Gesamtband. Berlin 2001. Cornelsen Verlag.

Internetadressen

Biostoffverordnung:

<http://de.osha.eu.int/legislation/verord/biostoffv.htm> (08.11.2003)

Blue genes:

<http://www.roche.de/diagnostics/biochemica/bluegenes/index.htm> (18.08.2003)

<http://www.sg.hdh.bw.schule.de/neu/bluegene.htm> (01.09.2003)

<http://www.bb.shuttle.de/bb/pfarrwiesen/bluegenes> (01.09.2003)

<http://www.rki.de/gentec/zkbs/allgstell/01/blugene.htm> (24.09.2003)

EIBE - Europäische Initiative für Biotechnik im Unterricht:

<http://www.ipn.uni-kiel.de/eibe.htm> (20.08.2003)

Entwicklung der Weltbevölkerung:

http://www.sd-m.de/images/DSW_Population_1000-2200.jpg

Experimentieren bei praktischen Arbeiten im Unterricht:

<http://www.hessgiss.de/hessvors.htm> (15.07.2003)

Fachberatung Biologie (Erfahrungsberichte zu *blue genes*):

<http://www.fachberatung-biologie.de> (15.07.2003)

Fonds der Chemischen Industrie (Finanzierung):

<http://www.vci.de/fonds> (21.08.2003)

Green fluorescence protein:

http://www.forbes.com/2001/07/26/0726gfp_print.html (01.11.2003)

Genlabore für Schüler:

<http://www.gbm.uni-frankfurt.de/akoeweb/genlabor.htm> (15.07.2003)

<http://www.xlab-goettingen.de> (15.07.2003)

Gentechnikgesetz (GenTG):

<http://www.bba.de/gentech/gentg.pdf> (08.11.2003)

Herstellung kompetenter *E. coli* - Zellen für CaCl₂-Transformation:

<http://www.biologe.de/Skripte/methodenprotokolle/html/Kompetente%20Zellen.htm>
(16.08.2003)

www.uct.ac.za/depts/mmi/bbhelp/bac1.html (16.09.2003)

Verordnung über die Bildungsgänge und die Abiturprüfung in der gymnasialen Oberstufe und dem beruflichen Gymnasium (VOGO/BG) vom 19. September 1998 (ABl. S. 734) in der Fassung vom 22. Mai 2003 (ABl. S. 338):

http://sform.bildung.hessen.de/gymnasium/skii/Reform/mat_sek2 (04.10.2003)

Verordnung über die Sicherheitsstufen und Sicherheitsmaßnahmen bei gentechnischen Arbeiten in gentechnischen Anlagen (Gentechnik-Sicherheitsverordnung - GenTSV) In der Fassung der Bekanntmachung vom 14. März 1995 (BGBl I S. 297) geändert am 16. August 2002, BGBl I S. 3220:

http://www.lfas.bayem.de/vorschriften/verordnungen/a_z/gentsv.htm (08.10.2003)

Wurzelhalsgallen bei der Kartoffel:

http://www.caf.wvu.edu/kearneysville/disease_descriptions/disease_images/fig143.jpg
(03.01.2004)

Software

Die Zelle IV: Kern des Lebens - Vom Gen zum Protein. Göttingen 2003.

Doppelhelix. Hannover 2001. Schroedel Verlag.

GenLab - Das virtuelle Praktikum. Oldenburg 2003. Spektrum Verlag.

Lernprogramm Gentechnik. Berlin 2002. Cornelsen Verlag.

VHS Video

Deutsche Agrarwissenschaft mbH: Grüne Gentechnik - Pflanzenzüchtung zwischen gestern und morgen. Bonn 2000.

Bezugsquellen

Blue Genes Koffer:

Bio-Rad Laboratorien GmbH, Heidemannstrasse 164, D-80939 München, Postfach 45 01 33,
D-80901 München, Telefon: 089 318 84-0, Fax: 089 318 84-100

Blue genes Reagenzienbox:

Roche Diagnostics GmbH, Sandhofer Straße 116, 68305 Mannheim, Telefon: 0800/7592226,
Fax: 0621/7598509

Kompetente Zellen:

Promega GmbH, Postfach 240506, Schildkrötstr. 15, D-68199 Mannheim,

Telefon: 0621/8501-0, Fax: 0621/8501-22

DNA Modelle

molymod[®] molecular models:

Spring Enterprises LTD., Billingshurst, W.Sussex, RH14 9HF, England, www.molymod.com

Anhang

Arbeitsblatt 1	Molekulargenetik	Experimente mit Mäusen von GRIFFITH
Arbeitsblatt 2	Molekulargenetik	VERY auf der Suche nach dem „transformierenden Prinzip“
Arbeitsblatt 3	Molekulargenetik	Genetischer Austausch bei Bakterien
Arbeitsblatt 4	Molekulargenetik	Genübertragung durch Viren: Transduktion
Arbeitsblatt 5	Molekulargenetik	Aufbau des DNA-Doppelstranges
Arbeitsblatt 6	Molekulargenetik	Die markierte DNA verdoppelt sich
Arbeitsblatt 7	Molekulargenetik	Molekularer Mechanismus der semikonservativen Replikation
Arbeitsblatt 8	Molekulargenetik	Der genetische Code
Arbeitsblatt 9	Molekulargenetik	Transkription - Translation
Arbeitsblatt 10	Molekulargenetik	Proteinbiosynthese

Klausur mit Erwartungshorizont

Arbeitsblatt 1	Gentechnik	Restriktion - Ligation
Arbeitsblatt 2*	Gentechnik	Schneiden des Plasmids <i>pBR322</i> mit dem Restriktionsenzym <i>RsaI</i>
Arbeitsblatt 3*	Gentechnik	Vorbereitung des Agarose-Gels
Arbeitsblatt 4*	Gentechnik	Elektrophorese
Arbeitsblatt 5*	Gentechnik	Färben der DNA im Agarose-Gel / Auswertung
Arbeitsblatt 6*	Gentechnik	Klonierung des <i>lacZ</i> -Gens
Arbeitsblatt 7*	Gentechnik	Klonierung von DNA (1)
Arbeitsblatt 8*	Gentechnik	Klonierung von DNA (2)
Arbeitsblatt 9*	Gentechnik	Klonierung von DNA (3)
Arbeitsblatt 10a*	Gentechnik	Klonierung von DNA (4a)
Arbeitsblatt 10b*	Gentechnik	Klonierung von DNA (4b)
Arbeitsblatt 11*	Gentechnik	Klonierung von DNA (5)
Arbeitsblatt 12a*	Gentechnik	Klonierung von DNA (6) Qualitative Auswertung
Arbeitsblatt 12b	Gentechnik	Klonierung von DNA (6) Quantitative Auswertung
Arbeitsblatt 13	Gentechnik	Das Operon-Modell: Genregulation bei <i>E. coli</i> nach JACOB und MONOD

Unbewerteter Test

Evaluationsbogen

Folie 1	GFP - Green Fluorescence Protein
Folie 2	Bakterien
Folie 3	Konjugation und Rekombination
Folie 4	Funktion von Vektoren
Folie 5	Viren: T4 Phagen
Folie 6	Restriktion
Folie 7	Transgene Pflanzen 1
Folie 8	Transgene Pflanzen 2

* Arbeitsblätter wurden nach dem *blue genes* Skript verändert