

**Dokumentation einer Unterrichtseinheit
im Fach Chemie
für die Laufbahn des höheren Schuldienstes an Gymnasien**

**Wis-Wissenschaft in die Schulen
- moderne biochemische Methoden -
eine Unterrichtseinheit in der Kursstufe in Kooperation mit der
Universität Karlsruhe TH**

von

Susanne Müller

Fachleiter: Jörg Reinmuth

Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung (Gymnasien) Karlsruhe
Ausbildungsschule: Gymnasium Karlsbad

Januar 2009

LANDESLEHRERPRÜFUNGSAMT

Außenstelle beim Regierungspräsidium
Karlsruhe

STAATLICHES SEMINAR FÜR
DIDAKTIK UND LEHRERBILDUNG
(Gymnasien)

KARLSRUHE

Zweite Staatsprüfung für die Laufbahn des höheren Schuldienstes an Gymnasien

Dokumentation einer Unterrichtseinheit

Fach: Chemie

Thema: Wis-Wissenschaft in die Schulen - moderne biochemische Methoden -
eine Unterrichtseinheit in der Kursstufe in Kooperation mit der
Universität Karlsruhe TH

Klasse(nstufe): Kursstufe 12

Verfasser/Verfasserin: Susanne Müller

Fachleiter/Fachleiterin: J. Reinmuth

Versicherung:

Ich versichere, dass ich diese schriftliche Prüfungsarbeit, selbstständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt habe und dass ich alle Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, durch Angabe der Quellen als Entlehnung kenntlich gemacht habe.

.....
(Ort, Datum)

.....
(Unterschrift)

Im Falle der Aufbewahrung meiner Arbeit im Archiv des Staatlichen Seminars für Didaktik und Lehrerbildung bzw. im Staatsarchiv erkläre ich mein Einverständnis, dass die Arbeit Benutzern zugänglich gemacht werden kann.

.....
(Ort, Datum)

.....
(Unterschrift)

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Rahmenbedingungen.....	3
2.1 Klassensituation.....	3
2.2 Unterrichtssituation.....	3
3. Vorüberlegungen.....	5
3.1 Schulcurriculum, Bildungsstandards, Lehrplan.....	5
3.2 Didaktische Vorüberlegungen.....	5
3.2.1 Biochemische Arbeitstechniken.....	6
3.2.2 Praktikum.....	8
3.3. Methodische Vorüberlegung	9
4. Ablauf der Unterrichtseinheit.....	11
4.1 Der Unterrichtsverlauf im Überblick	11
4.2 Die Lernziele	11
4.3 Unterrichtsverlauf der ersten Doppelstunde	12
4.4 Reflexion der ersten Doppelstunde	14
4.5 Unterrichtsverlauf der zweiten Doppelstunde	17
4.6 Reflexion der zweiten Doppelstunde	18
4.7 Unterrichtsverlauf der dritten Doppelstunde.....	19
4.8 Reflexion der dritten Doppelstunde	21
4.9 Verlauf des Praktikums	22
4.10 Reflexion des Praktikums	24
5 Fazit	27
6 Literaturverzeichnis	28

1. Einleitung

Die hier vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Projektes „WiS! - Wissenschaft in die Schulen!“ für einen 4-stündigen Chemie Neigungskurs der Kursstufe 12 angefertigt.

Im Bildungs- und Lehrplan finden sich viele Verweise auf außerschulische Erfahrungen und Kooperationen, welche die Schüler auf ihre spätere Berufswahl vorbereiten sollen. Der Blick über den Tellerrand des Klassenzimmers wird immer wichtiger.

Die Schulen des Landes befinden sich im Moment in einer Phase der Neuorientierung. Hier setzt das Projekt „WiS! - Wissenschaft in die Schulen!“ an.

„Mit „Wissenschaft in die Schulen!“ (WiS!) wollen wir unseren Beitrag zu diesem Erneuerungsprozess [der Schulen] leisten und das Interesse der Schüler für die naturwissenschaftlich-technischen Fachgebiete erneuern und fördern.“^[1]

WiS! ist eine Initiative der Zeitschrift „Spektrum der Wissenschaft“ in Zusammenarbeit mit der Landesakademie für Lehrerfortbildung in Donaueschingen unter der Schirmherrschaft der Gesellschaft für Biochemie und Molekularbiologie e.V. und des Max-Planck-Institut für Astronomie.

Eine fundierte Berechtigung die genannten Ziele der Initiative im Unterricht umzusetzen findet sich in den Bildungsplänen.

„Neben der fachbezogenen Grundbildung soll der Chemieunterricht den Schülerinnen und Schülern ermöglichen, besondere Neigungen und Begabungen unter dem Aspekt der weiteren Schullaufbahn und der Berufswahl zu entdecken“^[2]

„(...) Fachgrenzen müssen dazu immer wieder überschritten werden.“^[3]

Die Zitate entstammen sowohl dem Bildungsplan 2004 als auch dem Bildungsplan 1994. Zwar werden die Schüler des 4-stündigen Neigungsfaches Chemie noch nach den alten G9 Lehrplänen unterrichtet, jedoch halte ich die gewählten Zitate für treffend, um den Ansatz, der bei der Ausarbeitung dieser Arbeit zugrundegelegt wurde, zu beschreiben.

Die Arbeit ist in zwei Phasen gegliedert: eine erste theoretischen Phase während des Unterrichts und eine praktische Phase an der Universität Karlsruhe.

Während der ersten Phase werden den Schülern die theoretische Grundlagen vermittelt, so dass diese ein tieferes Verstehen und Durchdringen des behandelten Themas erreichen.

Dabei folgt der behandelte Unterrichtsstoff dem vorab konzipierten Praktikum an der Universität.

[1] <http://www.wissenschaft-schulen.de/>

[2] Bildungsplan für das Gymnasium, Baden-Württemberg 2004

[3] Bildungsplan für das Gymnasium, Baden-Württemberg 1994

In der zweiten Phase liegt der Schwerpunkt auf dem eigenständigen praktischen Experimentieren unter Laborbedingungen, dem Kennenlernen des universitären Arbeitens unter fachmännischer Aufsicht.

Bei der Vorbereitung der Stunden wurden diese zwei Aspekte in den Mittelpunkt gestellt. In jeder Stunde wird dem Praktikum folgend ein linearer Aufbau berücksichtigt und in der folgenden Stunde vertieft bzw. weiterentwickelt, so dass sich den Schülern in der letzten Stunde das Gesamtkonzept erschließt.

Die Methoden wurden so gewählt, dass sie die Schülern bei der Entwicklung von Modellvorstellungen der komplexen Sachverhalte visuell und haptisch unterstützen und somit das Verständnis für die biochemischen Vorgänge ermöglichen.

Hinweis: Im Folgenden bezieht sich der Ausdruck Schüler sowohl auf Schülerinnen und Schüler und wird nur der Einfachheit halber gewählt.

2. Rahmenbedingungen

2.1 Klassensituation

Die DUE wurde in einer Leihklasse unterrichtet, da ich selbst in diesem Jahr keine Kursstufe unterrichtete. Im 4-stündigen Chemiekurs von Frau Schliebitz sind insgesamt 14 Schüler, die sich aus 8 Jungen und 6 Mädchen zusammensetzten. Die Schüler waren der DUE gegenüber sehr aufgeschlossen und durch den aktuellen Bezug (Nobelpreis für Chemie) noch mehr motiviert.

Das Klima innerhalb des Kurses war entspannt und ermöglichte eine angenehme Arbeitsweise. Ich selbst wurde von den Schülern ohne Probleme als neue Lehrperson akzeptiert.

Bei der Beteiligung am Unterricht hielten sich vor allem die Mädchen bis auf zwei Ausnahmen etwas zurück, zeigten jedoch nach gezieltem Aufrufen, dass auch sie dem Unterrichtsfortgang folgen konnten.

Gerade die Abwechslung vom alltäglichen Schulalltag hat die Schüler sehr motiviert, was sich auch in den vielfältigen und tiefgehenden Fragen zeigten, welche die Schüler im Verlauf der Unterrichtseinheit stellten.

2.2 Unterrichtssituation

Die DUE besteht aus sechs gehaltenen Stunden und einem Praktikumstag (9.00 Uhr bis 15.00 Uhr) an der Universität Karlsruhe sowie einer kurzen Nachbesprechung der von den Schülern beladenen SDS-PAGE-Gele.

Die sechs Stunden teilen sich auf drei Doppelstunden auf, welche innerhalb von zwei Wochen gehalten wurden. Da während der Unterrichtseinheit zum Einen wegen mangelnder technischer Geräte, zum Anderen auf Grund des geplanten Praktikums an der Universität, auf Experimente verzichtet wurde, sind die sechs Stunden vom Umfang her angemessen; durch die Doppelstunden kam es weder zu Vor- noch zu Nachteilen.

Der Unterricht fand abwechselnd in einem Stufensaal und einem Praktikumsraum statt. Da während des ersten, theoretischen Teils keine Experimente durchgeführt wurden, war die Raumsituation wenig beeinträchtigend.

Während des Praktikums befanden sich die Schüler in einem Praktikumsaal der Universität Karlsruhe.

In der ersten Doppelstunde erfolgte eine kurze Vorstellung meiner Person. Einige der Schüler kannte ich schon aus meinem ersten Ausbildungsjahr, aber die Mehrheit der Schüler war mir nicht bekannt. Nach einer Erläuterung der Konzeption der Unterrichtseinheit und einem Ausblick auf das Praktikum an der Universität begann ich mit dem Unterricht.

Vor der zweiten und dritten Unterrichtsstunde wurde in einer schülerzentrierten Wiederholung kurz auf die zuvor behandelten Themen eingegangen. Zum Einen konnten so alle Schüler schnell an den neuen Stoff anknüpfen und eine klare lineare

Verbindung des aufeinander aufbauenden Themas sehen und zum Anderen konnten die Schüler, welche die letzten Stunde verpasst hatten, nochmal eine kurze Zusammenfassung hören.

Auf ein gezielte Abfragen wurde verzichtet, da die Schüler durch ihre Mitarbeit und Arbeitshaltung schon in der ersten Doppelstunde gezeigt hatten, dass sie stark intrinsisch motiviert waren.

Da das Praktikum an der Universität Karlsruhe stattfand, wurde mit den Schülern ein Treffpunkt ausgemacht. Ich gab den Schülern einen genauen Fahrplan der S-Bahnen mit Zeitangaben und Angaben zu Umstiegsmöglichkeiten bzw. einen detaillierte Anfahrtsplan für die Schüler, welche mit dem Auto anreisten.

Da es sich um Schüler der 12 Klassenstufe handelte, stellte die eigene Anreise kein Problem da.

3. Vorüberlegungen

3.1 Schulcurriculum, Bildungsstandards, Lehrplan

Das von mir gewählte Thema findet sich nicht explizit in den Bildungsplänen [2, 3], sondern zieht seine Berechtigung aus den dort genannten Wahlbereichen bzw. den im Vorwort und in den Standards angestrebten Zielen:

„Aus naturwissenschaftlichen Erkenntnissen allein lassen sich keine Werte und Normen für das gesellschaftliche Leben ableiten. Deshalb ist für eine verantwortungsvolle Anwendung des chemischen Wissens innerhalb der Gesellschaft die Zusammenarbeit mit verschiedenen Fachrichtungen, anderen gesellschaftlichen Gruppen, Institutionen und Betrieben notwendig.“ [2]

„Durch das Angebot der Wahlthemen ist der Unterricht variabel zu gestalten. Dadurch kann der Unterricht auch an die Interessen der Schülerinnen und Schüler sowie an aktuelle Ereignisse angepasst werden.“ [3]

„Der Unterricht im Profil- und Neigungsfach soll grundlegende Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten vermitteln und in besonderem Maße der allgemeinen Studienvorbereitung dienen. Das Fach Chemie trägt wesentlich zu einem Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte und Verfahren bei. Schülerinnen und Schüler sollen befähigt werden, sich auch in der Zeit nach dem Abitur kompetent bei der Diskussion und Gestaltung lokaler und globaler Systeme einbringen zu können.“ [3]

Da es sich um eine Klasse der Kursstufe 12 handelt, welche aus Schülern der vier letztjährigen 11. Klassen zusammengesetzt wurde, waren die Vorkenntnisse der Schüler schwer einzuschätzen.

Durch den aktuellen Bezug war ebenfalls unklar, in wie weit den Schülern das Thema bekannt war oder nicht.

3.2 Didaktische Vorüberlegungen

Inspiziert von der Idee, wissenschaftliche Themen in die Schule zu transportieren, entwickelte ich das Konzept dieser DUE. In Zusammenarbeit mit Herrn Herrmann vom Regierungspräsidium Karlsruhe, der Koordinator dieses Projektes ist, wurde das Konzept verfeinert.

Die DUE ist inhaltlich in zwei Teile gegliedert: das Praktikum zur Gewinnung, Aufreinigung und Identifikation von GFP (grün fluoreszierendes Protein) und die theoretische Grundlagen zu den angewendeten Methoden und Verfahren. Dabei

[2] Bildungsplan für das Gymnasium, Baden-Württemberg 2004

[3] Bildungsplan für das Gymnasium, Baden-Württemberg 1994

dient das GFP nur als Modellprotein für medizinisch und wirtschaftlich interessante Protein wie Insulin oder Chymosin, welche über Methoden wie die in dieser DUE vorgestellten, gewonnen werden.

Der Ausarbeitung des Praktikums gingen verschiedenen Absprachen mit Mitarbeitern der Universität Karlsruhe voraus, bei denen Inhalt und Umsetzbarkeit des geplanten Praktikums abgesprochen wurden. Im Anschluss daran konzipierte ich ein auf das Niveau von Schülern der Oberstufe angepasstes Praktikum auf der Grundlage eines dort eingesetzten Praktikums für Biologie-Studenten im Grundstudium (Biochemieteilbereich des F1-Praktikums). Dabei wurden zum Einen ein Augenmerk auf den Sicherheitsaspekt gelegt (Verwendung von Chemikalien und Apparate durch die Schüler) zum Anderen wurde auf eine verständliche und ausführliche Versuchsbeschreibung geachtet, um den Schülern eine größtmögliche Eigenständigkeit bei der praktischen Arbeit zu ermöglichen.

Nach dem Rahmen und Umfang des Praktikums bekannt waren, konnte ich die Ausarbeitung der Unterrichtsstunden beginnen. Dabei musste ich mir Gedanken machen, welche Inhalte ich den Schülern vermitteln musste, um das Praktikum, aber auch die den dort eingesetzten Methoden zu Grunde liegenden theoretischen Grundlagen, verständlich und begreifbar zu machen.

Ziel war es, die Schüler auf einem über dem Schulniveau liegenden Level in die biochemische Denk- und Arbeitsweisen einzuführen und so einen realistischen Einblick in das Studium der Bio- und Chemiewissenschaften zu geben.

Hierzu musste das Hintergrundmaterial und die Hintergründe hinter den einzelnen Methoden auf ein für Schüler dieser Klassenstufe verständliches Maß reduziert werden. Jeder Schritt des Praktikums sollte für die Schüler transparent werden und nachvollziehbar sein, und das vom Beginn, der Bildung von Proteinen, bis zum Ende, der Identifikation eines Zielproteins. Dabei war Ziel der Unterrichtseinheit in einem stufenweisen Aufbau ein die theoretischen Grundlagen für das sich anschließende Praktikum zu legen.

3.2.1 Biochemische Arbeitstechniken

Im Zentrum der DUE steht die Vorbereitung der Schüler auf das Praktikum an der Universität. Der Kernpunkt besteht darin, die dort angewendeten Methoden für die Schüler verständlich zu machen, ohne sie falsch darzustellen.

Da das in dieser DUE behandelte Thema nicht im normalen Lehrplan explizit ausgeschrieben ist, wurden alle Materialien von mir selbst erstellt und in ihrem Inhalt so aufbereitet, dass sie auf einem für die Schüler verständlichen Niveau lagen und schwierigen Sachverhalte in leichter zu verstehenden Bildern darstellen.

Essentiell für das Verständnis der Gewinnung von Fremd-Proteinen aus Bakterien ist die Vorstellung und das Verstehen des Gentransfers. Ich entschied mich dazu, nahe am späteren Praktikum zu bleiben und den Gentransfer am Beispiel des GFP aus der Qualle *Aequorea victoria* in Bakterien zu beschreiben. Dies entspricht nicht dem normalen Einsatz von GFP, wurde aber aus Gründen der Transparenz zum Praktikum so gewählt. Zu Beginn werden andere Proteine exemplarisch vorgestellt

(Insulin, Chymosin, Erythropoetin). Diese Proteine werden schon heute großtechnisch in Bakterien produziert, was zum Einen wirtschaftlich rentabel ist, zum Anderen die Befriedigung der immensen weltweite Nachfrage ermöglicht.

Bei der Erarbeitung der unterschiedlichen Arbeitsmethoden wird Wert auf die Verständlichkeit der Texte gelegt. Die Schüler sollen einen Unterschied zwischen dem Niveau und Umfang einer normalen Schullektüre und der DUE bemerken. Im Mittelpunkt steht trotzdem der Transport von wissenschaftlichem Inhalt auf Schulebene. Große, umfangreiche Informationsmengen müssen für die Schüler aufgeteilt und in ihrer Komplexität reduziert werden. Die Sprache, die sich an fachkundigere Leser richtet, muss angeglichen werden, da viele Fachbegriffe und einiges Hintergrundwissen bei den Schülern nicht vorhanden ist.

Ziel ist es, dass die Schüler lernen, mit großen Informationsmengen umzugehen, diese zu bearbeiten und wichtige Informationen auch aus fachlichen Texten herauszulesen. Dabei ist der Austausch untereinander wichtig, aber auch die Möglichkeit, im eigenen Tempo zu arbeiten.

Daneben ist eine Intention, mit den Vorstellungen aufzuräumen, dass moderne Wissenschaft so abläuft wie es in hochglanz Fernsehserien gezeigt wird und jeder Versuch in Minuten abgeschlossen ist und sowohl exakt auswertbare als auch 100% richtige Ergebnisse liefert.

Die Modellvorstellungen, die während des Unterrichts über die einzelnen Methoden in den Schülern angelegt werden sollen, sollen sowohl einfach anzuwenden, aber trotzdem korrekt sein. Damit soll das Arbeiten im Praktikum keine leere Handlung sein, sondern die praktische Ergänzung des zuvor theoretisch Erarbeiteten.

Dabei wird berücksichtigt, dass eine phänomenologische Betrachtung mehr Nutzen bringt, als die exakte Wiedergabe der postulierten Realität.

Bei den Zellaufschlussmethoden wird durch das Gruppenpuzzle die große Informationsmenge von mir auf die einzelnen Gruppenmitglieder aufgeteilt. Im späteren Praktikum wird nur die Ultraschallmethode benötigt, ich aber möchte, dass die Schüler einen Überblick über die unterschiedlichen Methoden erhalten. Um die Komplexität zu reduzieren, wird den Schülern ein Auswertungsblatt mit Leitfragen an die Hand gegeben, welche klare Auswertungskriterien auflistete, z.B. Umsetzbarkeit der Methode im Labor, Vor- und Nachteile usw.. Das Ziel ist, dass die Schüler lernen, mit einer großen Fülle an Informationen umzugehen und dabei (noch unter Anleitung) wichtige Inhalte herausfiltern. In Gruppe können die stärkeren Schülern den schwächeren Schülern helfen und sie unterstützen sich so gegenseitig. Unklarheiten können in einem anderen Rahmen als im normalen Unterricht geklärt werden und die Schüler können (im vorgegeben Rahmen) in ihrem eigenen Tempo arbeiten.

Die Affinitätsaufreinigung stellt den Kernpunkt der Arbeit und des späteren Praktikum dar. Es war wichtig, dass die Schüler im Praktikum verstehen, was sie tun. Ebenfalls sollen sie lernen, dass nicht alles so sauber und glatt läuft wie im Fernsehen, wie z.B. die PRC-Analyse bei CSI.

Der Stoff muss reduziert werden, weil die Komplex-Bindung nicht im Lehrplan steht. Sie wurde kurz bei der Biuret-Reaktion angesprochen, jedoch ist die Komplex-Bindung für die Schüler weniger nachvollziehbar, da ihnen die Grundlagen des Orbitalmodells nicht bekannt sind und eine Erklärung über Erklärungsmodelle

erfolgt.

Das Modell der Affinitätsaufreinigung wird deshalb stark vereinfacht, es findet keine Unterscheidung der Matrix in Metallionen und den Protein-Tags statt; die Darstellung der Wechselwirkung erfolgt einzig über die Symbolisierung eines Schlüssel-Schloss-Prinzips. Dies gibt zwar die exakten Bindungsverhältnisse nicht wieder, ist den Schülern aber aus der Biologie bekannt und genügt um das Aufreinigungsprinzip zu transportieren.

Die Identifikation des Proteins über die SDS-PAGE-Gelelektrophorese wird mit in das Praktikum genommen, um einen kompletten Ablauf darzustellen (Gewinnung, Aufreinigung, Identifikation).

Das grün fluoreszierende Protein (GFP) ist auch mit bloßem Auge zu erkennen, da es selbst bei normalem Tageslicht leichte Fluoreszenz zeigt. Dennoch finde ich es wichtig, dass die Schüler zum Abschluss einen Gesamtüberblick über ihr Arbeiten erhalten. Die Schüler tragen nicht nur eine Fraktion auf, sondern Proben aus vielen Teilschritten der Aufreinigung. So können sie zum Einen ihre handwerklichen Fertigkeiten einschätzen, als auch Rückschlüsse über die Methode, ihre Stärken und Schwachpunkte ziehen. Und, was ich besonders wichtig finde, sie erkennen, wie schwierig die Grundlagenforschung ist; Forscher müssen diese uneindeutigen Banden und Informationen verwerten und kreieren daraus ein klares Bild der Interpretation.

Des Weiteren ist die SDS-PAGE-Gelelektrophorese eine wichtige Methode in modernen Laboren und soll verdeutlichen, dass Ergebnisse einer Verifizierung bedürfen.

Schüler gehen oft davon aus, das ein einfacher Versuch als Nachweis genügt, jedoch sind auch Blindproben oder Nachweisreaktionen notwendig, um eine eindeutige Zuordnung zu gewährleisten.

Da die Elektrophorese noch im Zusammenhang mit der DNA behandelt wird, soll hier der phänomenologische Aspekt der Methode im Vordergrund stehen,

3.2.2 Praktikum

Ziel des Praktikums ist die praktische Ergänzung des in der Schule behandelten theoretischen Inhalts. Dabei werden einige Handlungsschritte und Arbeitsweisen von technischen Angestellten vorweggenommen. Gerade das Ansetzen der richtig berechneten Puffer ist für Schüler ohne lange Übungsphasen schwierig und langwierig.

Ebenfalls wird auf eine Verschachtelung der einzelnen Abläufe des Praktikums verzichtet. Den Schülern soll durch die schrittweise Abfolge ein lineares Nachvollziehen ermöglicht werden. Eine ineinanderschachtelung von Arbeitsabläufen verkürzt die Arbeitszeit, macht aber das Nachvollziehen schwerer. Die Zeit wäre sinnvoller gefüllt, aber die Schüler entwickeln dadurch kein Verständnis für den Aufwand von Forschungsarbeit. Oft bringt die Verschachtelung auch eine Vorwegnahme von Erkenntnissen mit sich, der Reiz am Entdecken schwindet, die Abläufe sind nicht mehr linear und stringent.

3.3. Methodische Vorüberlegung

Durch die Wahl der Methoden soll Abwechslung und Vielfalt im Unterricht gewährleistet werden, um das Interesse auch an den mitunter schwierigen Sachverhalten zu erhalten. Für die Erarbeitung der theoretischen Grundlagen werden die Methoden so gewählt, dass schwierige Sachverhalte anschaulich visualisiert werden können bzw. arbeitsteilig erarbeitet werden.

Modelle:

Während der DUE werden zwei Modelle eingesetzt:

Modell 1 dient der Erarbeitung des Gentransfers, Modell 2 zur Visualisierung der drei Phasen während der Affinitäts-Chromatografie.

Durch die Wahl bunter Materialien wirken die Modell ansprechend und trennen klar unterschiedliche Bestandteile voneinander. Dies fördert bei der Visualisierung die Strukturierung der Vorstellung für die Schüler.

Beim Einsatz von Modell 1 [A7] müssen die Schüler Informationen zum Ablauf des Gentransfers aus einem Text herauslesen und diese Informationen mit Hilfe des Modells in ein Bild umsetzen. Da das Thema Gentransfer in Biologie erst in der Kurstufe behandelt wird, sollten zusätzliche Beschriftungskärtchen die Zuordnung und somit eine Sortierung durch die Schüler erleichtern [A7].

Gleichzeitig sorgt dieses Modell für eine Aktivierung der Schüler. Einzelne Schüler gehen an die Tafel und sortieren schrittweise das Modell um, so dass der komplexe Sachverhalt in einem klar strukturierten Fließbild dargestellt wird. Mittels des Modells können die restlichen Schüler das sich entwickelnde Tafelbild jederzeit mitverfolgen.

Modell 2 dient weniger der Erarbeitung als der unterstützenden Darstellung. Die Vorgänge während der Aufreinigung über die Affinitäts-Chromatografie sind relativ komplex.

Deshalb wurde das Modell einfach gehalten. Da Komplexe und ihre Bindung nicht im Lehrplan vorgeschrieben sind, wird auf eine detaillierte Darstellung verzichtet, weil das Prinzip im Vordergrund stehen soll. Der Einsatz des Modells bietet die Möglichkeit, dynamische Prozesse auch dynamisch an der Tafel abzubilden und auf Fragen der Schüler einzugehen.

Gruppenpuzzle:

In Abwechslung zum Lehrer-Schüler-Gespräch und um mehrere unterschiedliche Aufschlussmethoden in kurzer Zeit intensiv zu erarbeiten, möchte ich ein Gruppenpuzzle einsetzen. Bei einem Gruppenpuzzle übernehmen die einzelnen Schüler Verantwortung für ihre Gruppenmitglieder, da nicht allen die gleichen Informationen zur Verfügung stehen. Gleichzeitig können sich die Schüler in den Expertengruppen über die zum Teil schwierigen Inhalte austauschen und auch hier durch gegenseitiges Erklären hinzu lernen.

Durch die Einteilung per Zufall schulen die Schüler ihre soziale Kompetenz und Teamfähigkeit.

Englischer Infotext:

Der Einsatz des englischen Textes ist eine Herausforderung für die Schüler, an ihre Sprachkenntnisse und an ihre Konfliktfähigkeit. Sie sollen lernen, ihre Frustration über nicht Verstandenes bei Seite zu legen und den Inhalt eines Textes, nicht das einzelne Wort, zu verstehen.

Dies soll hinführend sein auf den eventuellen späteren Alltag in Beruf oder Studium, wenn englischsprachige Literatur allgegenwärtig ist. Da es sich um einen schwierigen Text handelt, wird der Inhalt nochmals mit der Klasse durchgesprochen, um jedem Schüler ein Verstehen zu ermöglichen.

Feedbackbogen:

Durch den Einsatz eines anonymen Feedbackbogens [A21] erhoffe ich mir detaillierte und differenzierte Rückmeldung der Schüler über die gehaltenen Einheit.

Kernpunkte sind: Verständlichkeit, Komplexität des Sachverhaltes, das Praktikum.

Die Schüler erhalten ebenso Platz für freie Äußerungen sowie Anregungen.

4. Ablauf der Unterrichtseinheit

4.1 Der Unterrichtsverlauf im Überblick

Stunde	Inhalte	Methode
1./2. Stunde	<ul style="list-style-type: none"> - GFP – das grünfluoreszierende Protein - GFP als Modellprotein - Gentransfer am Beispiel des GFP 	<ul style="list-style-type: none"> - Lehrervortrag - Lehrer-Schüler-Gespräch - Einzelarbeit - Modell des Gentransfers
3./4. Stunde	<ul style="list-style-type: none"> - verschiedene Aufschlussmethoden von Bakterien - unterschiedliche Methoden der Affinitätsaufreinigung - Affinitätschromatografie in Kürze 	<ul style="list-style-type: none"> - Gruppenpuzzle - Lehrervortrag - Einzelarbeit/Partnerarbeit
5./6. Stunde	<ul style="list-style-type: none"> - Modell der Affinitätsaufreinigung - SDS-PAGE-Gelelektrophorese - Einweisung in das Praktikum 	<ul style="list-style-type: none"> - Modell der Affinitätsaufreinigung - Lehrer-Schüler-Gespräch - Einzelarbeit
Praktikum	<ul style="list-style-type: none"> - Gewinnung, Aufreinigung und Nachweis von GFP 	<ul style="list-style-type: none"> - Schülerpraktikum

4.2 Die Lernziele

Stunde	Lernziele Die Schüler sollen/können
1./2. Stunde	<ul style="list-style-type: none"> - die Besonderheiten und den Einsatz von GFP kennen - den Gentransfer am Beispiel des GFP verstehen und auf andere Proteine übertragen
3./4. Stunde	<ul style="list-style-type: none"> - unterschiedliche Methoden für den Bakterienaufschluss mit ihren Vor- und Nachteilen kennenlernen - sich gegenseitig wichtige Informationen vermitteln - in Gruppen arbeiten - Kerninformationen aus einem kurzen Vortrag herauslesen - einen englischen Fachtext lesen und inhaltlich wiedergeben können
5./6. Stunde	<ul style="list-style-type: none"> - verstehen welches Prinzip eine Affinitätsaufreinigung ermöglicht - können das Prinzip der SDS-PAGE-Gelelektrophorese begreifen und anderen erklären
Praktikum	<ul style="list-style-type: none"> - den Umgang mit neuen Laborgeräten kennenlernen - unter Aufsicht eigenständig experimentieren - den theoretischen Hintergrund mit der praktischen Handlung verknüpfen

4.3 Unterrichtsverlauf der ersten Doppelstunde

Als motivierenden Einstieg und Untermalung des aktuellen Bezuges wählte ich einen Zeitungsartikel [A1]. Der Artikel handelte vom Nobelpreis für Chemie des Jahres 2008. Ich erklärte den Schülern, dass sich drei Forscher für ihre Leistungen auf dem Gebiet der GFP-Forschung diesen Preis teilen. Nachdem ich in einem kurzen mündlichen Vortrag die Errungenschaften der drei Forscher erläutert hatte, konfrontierte ich die Schüler mit zwei Problemen:

Was ist GFP und wie wird es eingesetzt?

Der erhoffte Effekt war eine Motivation der Schüler, diese Probleme zu lösen und so gab ich den Text „Affe mit Leuchtstoff-Gen“ [A2] aus, den jeder Schüler für sich lesen sollte. Der Text weckte in den Schülern viele Fragen: Weshalb leuchtet der Affe nicht? Warum sind die anderen Geschwister tot?

An dieser Stelle nahm ich mir Zeit, die Fragen möglichst ausführlich, aber dennoch verständlich zu erklären, obwohl die Fragen nicht strikt zielführend für die weitere Erarbeitung waren. Die rege Beteiligung zeigte deutlich das brennende Interesse an dem Thema.

Nachdem die meisten Fragen beantwortet waren, führte ich die Schüler weiter in die Thematik ein, indem ich in einem kurzen Power-Point-Vortrag [siehe Präsentation „GFP“ auf der CD] das Molekül GFP (Herkunft und Struktur), seine Verwendung in der wissenschaftlichen Forschung sowie im privatwirtschaftlichen Bereich (Glowfish) vorstellte.

Auch hier zeigten die Schüler mit ihren Fragen große Aufgeschlossenheit:

Kann das GFP auch in lebende Menschen eingebracht werden? Kann man die Glofish[®]-Zebrafische in Deutschland kaufen? Weshalb ist es verboten?

Im Anschluss daran erfragte ich ein kurzes Meinungsbild der Schüler, in dem ich ihre Haltung zu den von mir vorgestellten Anwendungen von GFP erfragte. Obwohl sich nicht alle beteiligten, äußerten einige Schüler eine sehr differenzierte Meinungen: Neben eher ablehnenden Haltungen, wie z.B. „Ich finde es bedenklich, wie z.B. bei dem Fisch oder dem Affen einfach so in die Natur eingegriffen wird, ohne weiteren Nutzen.“ oder „Gefahren und Risiken (von GFP) sind schwierig einzuschätzen, da es sich, einmal in das Lebewesen eingebracht, nicht mehr entfernen lässt.“ gab es auch positivere Äußerungen: „Diese neue Technik, um Vorgänge wie die Zellteilung von Krebszellen in Zellkulturen zu markieren, ist vielleicht noch nicht ganz ausgereift, man sollte das Potential aber nicht verschenken, sondern weiter forschen.“ (Anmerkung: Die Aussage bezieht sich auf den Einsatz von GFP in lebenden Organismen, nicht nur in Zellkulturen).

Ich schloss, indem ich kurz erklärte, dass Forscher bei den meisten neuen Forschungsprojekten zumindest in Deutschland heutzutage aus genau diesen widersprüchlichen Gründen einen Ethikrat konsultieren müssen und auch sich selbst die Frage stellen, wo der Nutzen der Forschung liegt.

Nach der Vorstellung des Moleküls GFP erklärte ich, dass wir in diesem Rahmen das fluoreszierende Protein nur als Modellprotein betrachten werden. Am Beispiel des

GFP soll den Schüler der Einsatz verschiedenster moderner biochemischer Techniken erläutert und näher gebracht werden. Ich stellte nochmals klar, dass GFP unter normalen Forschungsbedingungen nicht als singuläres Protein in Bakterien exprimiert und gewonnen wird, sondern normalerweise an andere, zu markierende Proteine fusioniert und im Komplex mit diesen gewonnen oder weiter bearbeitet wird.

Ich legte die Folie „Proteine aus Bakterien“ [A3] auf, auf der Ausschnitte aus Zeitungsartikeln und wissenschaftlichen Artikeln abgebildet waren. Die Artikel thematisierten die Gewinnung von drei wichtigen Proteinen aus Bakterien: Insulin, Chymosin und Erythropoetin.

Ich ließ den Schülern kurz Zeit, die Ausschnitte zu lesen und erläuterte nochmals, dass die Verfahren und Techniken zur Proteingewinnung aus Bakterien im Normalfall auf solche Protein angewendet werden und nicht zur Gewinnung von GFP dienen.

Auf die Frage, ob einer der Schüler erklären könnte, weshalb man überhaupt Proteine aus Bakterien gewinnt, meinte ein Schüler „Weil es billiger ist.“. Diese Aussage bejahte ich und lenkte mit der Frage nach der Anzahl der Kälber, die jeden Tag geschlachtet werden müssten, um die Weltproduktion an Käse zu decken, die Aufmerksamkeit der Schüler auf einen zweiten wichtigen Punkt. Die Schüler kamen sofort darauf, dass die Nachfrage nach den Medikamenten Insulin und Erythropoetin, bzw. dem Labersatzstoff Chymosin schwer aus natürlichen Quellen zu decken ist und erkannten schnell den Vorteil, den die Gewinnung dieser großen Mengen an Proteinen aus Bakterien mit sich bringt.

Nun warf ich mittels der Folie „Kernfragen“ [A4], die Kernfragen auf, die wir im weiteren Verlauf zu klären hatten:

- „Wie entsteht ein Protein?“
- „Wie gelangt die Protein-kodierende DNA in das Bakterium?“
- „Wie erhält man das gewünschte Protein?“

Im nächsten Schritt sollte es um die Bildung von Proteinen gehen. Da ich wusste, dass das Thema Translation und Transkription im Fach Biologie erst in der Kursstufe behandelt wird, es aber fundamental für das weitere Verstehen war, dass die Schüler die Entstehung von Proteinen verstehen, begann ich diese Erarbeitungsphase mit einem Arbeitsblatt (Von der DNA zum Protein) [A5].

Die Schüler sollten vorgefertigte Aussagen und Beschreibungen der jeweiligen Teilschritte der Transkription und Translation skizzenhaften Abbildungen der Teilschritte zuordnen und so einen Überblick über den Gesamtprozess erhalten.

Nachdem nun geklärt war, wie Proteine gebildet werden, warf ich die Frage auf, wie Proteine in die Bakterien gelangen. Dies konnten die Schüler noch nicht beantworten und ich erklärte, man müsse den Gencode des Zielproteines aus dem Organismus (z.B. der Kuh (Chymosin) oder der Qualle (GFP)) herausholen und in das Bakterium einbringen. Zur Erarbeitung diese Prozesses erhielten die Schüler ein weiteres Arbeitsblatt „Gentransfer des GFP aus der Qualle“ [A6] , in dem es um den Gentransfer des GFP aus der Qualle *Aequorea victoria* in ein Bakterium ging. Da es sich um einen sehr komplexen Prozess handelt, hatte ich hierzu ein Modell und Bezeichnungskärtchen [A7] entwickelt, welches ich, während die Schüler den Text lasen, an die Tafel anbrachte.

Nach meiner Anweisung, sich nun die einzelnen Teilschritte des im Text erklärten Gentransfers mit Hilfe des Modells vorzustellen, hatten die Schüler Zeit, sich mit Hilfe des Modells eine Vorstellung der Abläufe zu machen.

Im Anschluss daran gingen einzelne Schüler nacheinander an die Tafel und bildeten in einem fließenden Tafelbild die einzelnen, aufeinander aufbauenden Teilschritte eines Gentransfers Schritt für Schritt ab (siehe Abbildungen unten).

A

B

Entwicklung des Tafelbildes zur Erarbeitung des Gentransfers

- A) unsortiertes Modell zu Beginn der Erarbeitung
- B) erster Teilabschnitt des Gentransfers
- C) zweiter Teilabschnitt des Gentransfers

Mit Hilfe des Modells und des Informationstextes war es den Schülern möglich, in eigenen Worten die Prozesse der Teilschritte ihren Mitschülern nochmals zu erläutern und so eine Beschreibung der Vorgänge in Schülerworten in ihr Heft zu übernehmen.[A8].

Fertiggestelltes Tafelbild: Übersicht über den Gentransfer

4.4 Reflexion der ersten Doppelstunde

Ich hatte das Gefühl, dass die Öffnung des Unterrichts über die Schule hinaus einen sehr motivierenden Effekt auf die Schüler hatte. Gerade der Einstieg über den Zeitungsausschnitt konnte die Schüler durch seine Aktualität begeistern.

Der im Anschluss erarbeitete Text über den gentechnisch veränderten Affen wirkte dagegen zu Beginn eher belustigend, führte aber trotzdem zu tiefgreifenden Fragen auf Seiten der Schüler (siehe 4.3). Die Fragen, die sich ergaben, waren zum Teil sehr komplex und gingen über den Wissensstand der meisten Schüler hinaus. Dies brachte für mich einige Schwierigkeiten. Einerseits wollte ich das Interesse der Schüler am Thema weiter fördern, andererseits musste ich das Niveau bei der Beantwortung so reduzieren, dass ich das Interesse und die Neugier auf das Thema nicht abblockte. Im Folgenden lege ich dies kurz an einem Beispiel dar:

Die Frage, weshalb die meisten Geschwister von ANDi gestorben waren, erläuterte ich mittels einer Tafelskizze, in der ich auf die Insertion des neuen Genfragmentes in die andere Genabschnitte bzw. in nicht für Gene kodierende DNA-Regionen einging. Dabei sprach ich nur von wichtigen Genen, welche in ihrer Abfolge intakt bleiben müssen, dass der Organismus überlebt und deshalb im Umkehrschluss bei Zerstörung zu dessen Tod führen. Gelangt das neu eingebrachte Genfragment in eine nicht für Gene kodierenden DNA-Region, ist das Überleben des Organismus wahrscheinlicher.

In wie weit die Schüler durch ihre Vorbildung und schon abgehaltenen Unterricht in Biologie (die Schüler kamen aus unterschiedlichen Biologiekursen) ein Grundverständnis für die beschriebenen Vorgänge hatten, war vorher nicht gut einzuschätzen. Hier hätte ich eventuell durch ein Vorabgespräch mit den Lehrern bzw. einem kurzen Mindmap Brainstorming das Wissen zu Genetik und Gentechnik abklopfen können und dadurch das Niveau besser einschätzen und anpassen können. So zeigten sich manche der Schüler etwas überfordert.

Bei der sich anschließenden kurzen Meinungsabfrage beteiligten sich nicht sehr viele Schüler. Zwar fielen oft die Begriffe: „Eingriff in die Natur“, „nicht kontrollierbar“ und die Schüler zeigten ein sehr feines Gespür für dieses schwierige Thema und seine Widersprüche, allerdings hätte ich, um mehr Schüler zu aktivieren, die Diskussion stärker leiten müssen bzw. jeden Schüler gezielt auffordern, seine Meinung z.B. auf einem Zettel zu notieren und diese dann an einer Pinnwand zu sammeln. Um es weiter zu vertiefen hätte ich auch Rollen vergeben können, bei denen die Schüler bestimmte Pro- bzw. Kontra-Positionen einnehmen müssen, zu denen die Schüler eigenständig Hintergrundinformationen sammeln. Dies hätte sie noch mehr in die Thematik eingebunden und die Schwierigkeiten der gegensätzlichen Ansichten mehr verdeutlicht.

Auch die Herausstellung der Bedeutung von Chymosin, Insulin und Erythropoetin hätte ich ausführlicher gestalten müssen. Im Nachhinein hatte ich das Gefühl, das Thema den Schüler nicht näher und begreiflicher gemacht zu haben. Die Schüler waren sehr auf GFP fixiert. Hier hätte ich mehr Zeit investieren müssen und den

Schüler einen gezielten Arbeitsauftrag, z.B. mittels einer Internetrecherche zum Thema „Gentechnische Veränderung von Bakterien und großtechnische Proteingewinnung (Insulin; Chymosin; Erythropoetin)“ geben können. Auch die Beschränkung und Herausarbeitung der Bedeutung an nur einem Beispiel wäre eine Möglichkeit gewesen.

Insgesamt wirkten die Schüler durch die Begriffe Chymosin, Insulin und Erythropoetin abgeschreckt. Sie zeigten hier wenig Vorwissen und konnten z.B. Insulin als Begriff einordnen, jedoch nicht seine Gewinnung beschreiben. Auch Chymosin bzw. Lab und seine Gewinnung bzw. Erythropoetin konnten sie nicht einordnen. Dadurch fiel es den Schülern schwer, eine Einschätzung bzw. Beurteilung der Gewinnung dieser Stoffe in Bakterien vorzunehmen. Auch hier hätte die oben erwähnte Internetrecherche für ein tieferes Verstehen durch Selbsterarbeitung das benötigten Hintergrundwissens liefern können.

Bei der anschließenden Erarbeitung des Gentransfers kam es mir nur auf das Verstehen des ablaufenden Gesamtprozesses an und nicht darauf, Detailwissen zu einzelnen Teilschritten zu erarbeiten. Deshalb wurde das Arbeitsblatt einfach gehalten. Bei der Erarbeitung der Transkription und Translation über das Arbeitsblatt [A5] zeigte sich, dass das Interesse an Bastelarbeit in dieser Klasse nicht sehr hoch ist. Ziel war durch das Ausschneiden eine Reorganisation des Textes, so dass zum Schluss ein Fließtext mit Bebilderung entsteht und der Ablauf von oben nach unten gelesen werden kann.

Einige Schüler schnitten die Textbausteine und Bilder wie geplant aus, andere begründeten das Nichtausschneiden mit der Ordnung, die sie sich selbst in ihrem Kopf zurecht legten. Diese Schüler nummerierten die Bilder und Textbausteine durch. Für mich war es schwierig einzuschätzen, in wie fern diese Schüler den Prozess in seiner Gesamtheit verstanden, da ich die Leistung der Schüler nicht kannte und somit nicht einschätzen konnte, ob diese die Reorganisation und Strukturierung der Abläufe durch das Durchnummerieren erzielen konnten.

Vielleicht sollte der Arbeitsauftrag und das Arbeitsblatt für eine 12. Klasse hier auch freier gestaltet werden, so dass beide Lerntypen ihre Methode anwenden können. Diese könnte man zum Beispiel mit folgender Umstrukturierung des Arbeitsblattes erreichen: Die Pictogramme werden auf der rechten Seite angeordnet, die Beschreibungen links davon. So können die Schüler entweder die Arbeitsanweisung befolgen oder durch Nummerieren und Verbinden der Pictogramme und Beschreibungen eine Sortierung erzielen.

Die Aufgabenstellung des Arbeitsblattes zum Gentransfer [A6] muss verändert werden. Geplant war eine zweigeteilte Erarbeitung. Ziel der schrittweisen Erarbeitung war, dass die Schüler die nacheinander ablaufenden Schritte einzeln mittels des Modells an der Tafel darstellten und in ihr Heft übernahmen. Im zweiten Schritt sollten die Schüler die Skizze beschriften, die einzelnen Phasen und den Ablauf mit ihren eigenen Worten beschreiben und vervollständigen.

Die Schüler vollzogen diese Schritte parallel und fügten ihre Notizen ein, während sie das Modell übernahmen. Da ich eine zweigeteilte Erarbeitung eingeplant hatte, kam dadurch meine Zeitplanung etwas durcheinander, was ich aber durch eine Festigungsphase, einer mündlichen Zusammenfassung des Ablaufes durch die Schüler, ausgleichen konnte.

Die Aufgabenstellung sollte folgendermaßen abgewandelt werden:

Die einzelnen Arbeitsschritte, das Skizzieren der Abläufe mittels des Modells und Beschreibung der einzelnen Abläufe, sollten zusammengefasst werden. Die Schüler erhalten dann mehr Zeit, um sich sowohl die Anordnung des Modells als auch die Beschreibung des Ablaufes in dieser Phase genauer zu überlegen. An der Tafel ordnen dann ein oder mehrere Schüler die Modellteile an und erläutern den anderen den Ablauf parallel dabei.

4.5 Unterrichtsverlauf der zweiten Doppelstunde

Zu Beginn der zweiten Doppelstunde legte ich Folienteile auf den Overheadprojektor [A9] und ließ einen Schüler nochmals in seinen eigenen Worten grob den Ablauf des Gentransfers zusammenfassen. Dabei achtete ich streng darauf, dass die korrekten Begriffe verwendet wurden, da vier Schüler in der letzten Stunde gefehlt hatten und durch die Wiederholung einen Überblick über den aktuellen Kenntnisstand erhalten sollten.

Mit dem Bild eines Bakteriums mit produziertem Protein leitete ich zu der nächsten Kernfrage über: „Wie erhält man das gewünschte Protein?“.

Als Überleitung zu den unterschiedlichen Aufschlussmethoden nannte ich in einem kurzen Lehrervortrag die fünf Möglichkeiten, welche die Schüler in einem Gruppenpuzzle [A10] selbst erarbeiten sollten.

Da den Schülern der Ablauf eines Gruppenpuzzles nicht geläufig war, erläuterte ich den Ablauf der Gruppenarbeit und die Einteilung der Gruppen, die nach dem Zufallsprinzip erfolgte, ausführlich mit einer Skizze an der Tafel. Da der Kurs nur aus 14 Schülern bestand, wurde in einer Gruppe die relativ unbedeutenden biologischen Aufschlussmethoden weggelassen. Es gab drei Stammgruppen, die sich aus fünf bzw. vier Schülern zusammensetzten. Daneben gab es fünf Expertengruppen mit je drei bzw. zwei Schülern. Die Einteilung der Gruppen erfolgte über die Arbeitsblätter, auf deren Rückseite ich die Nummer der Stammgruppe und auch die Art der Expertengruppe notiert hatte.

Nachdem alle Schüler ein Arbeitsblatt erhalten hatten, teilte ich ihnen das Sicherungsblatt [A11] aus, auf denen sie sowohl die Arbeitsanweisungen als auch die zu vervollständigende Übersicht fanden. Die Schüler erhielten nun 10 Minuten Zeit, sich jeweils einzeln mit ihren Arbeitsblättern zu beschäftigen, was auch von allen zum intensiven Arbeiten genutzt wurde. Nach den 10 Minuten wies ich die Schüler an, sich nun in die Expertengruppen zu begeben, um sich auszutauschen und Unklarheiten zu beseitigen. Nach weiteren 15 Minuten gingen die Schüler in einen 20-minütigen gegenseitigen Austausch in den Stammgruppen über, in dessen Verlauf jeder Schüler aus seiner Expertengruppe berichtete und somit eine grobe Übersicht mit Vor- und Nachteilen der unterschiedlichen Aufschlussmethoden entstand [A12].

Im sich an diese Arbeitsphase anschließenden Lehrer-Schüler-Gespräch fragte ich die Schüler, was man bei solch einem Zellaufschluss als Produkt erhalten würde. Ein Schüler meinte, es wären wohl alle möglichen Bestandteile der Zelle darin enthalten, wie Zellwandfragmente, Bakterienproteine usw.. Ich bejahte dies und stellt die Frage in den Raum, wie man sein Zielprotein aus solch einem Zellaufschluss erhalten kann.

Dies konnten sich die Schüler nicht erklären und so stellte ich in einem Lehrervortrag [siehe Präsentation „Affinitätsaufreinigung“ auf der CD] knapp die Grundlagen von vier Methoden zur Aufreinigung von Proteinen vor. Die Schüler zeigten daran großes Interesse. Besonders interessant war die Frage nach dem Antrieb, der hinter der Diffusion von kleinen Molekülen in der Gelfiltration steckte. Leider war den Schülern der Begriff Kapillarkräfte nicht geläufig, so dass ich an dieser Stelle etwas ausführlicher erklären musste.

Die letzte Folie zeigte nur das Bild der Matrix bei der Affinitäts-Chromatografie und diente der Überleitung zur Selbsterarbeitungsphase durch die Schüler. Hierzu erhielt jeder Schüler einen englischen Text [A13], in dem die wesentlichen Merkmale der Affinitätsaufreinigung beschrieben waren. Die Schüler sollten zuallererst alleine, dann in Partnerarbeit den Text bearbeiten und ihn sich selbst inhaltlich erschließen und sich darüber austauschen. Die Schüler zeigten sich von dem englischen Text verunsichert. Nach zehn Minuten versuchte ich im Lehrer-Schüler-Gespräch die Vorteile der vorgestellten Methode zu erarbeiten. Ich erläuterte den Schülern mit Skizzen an der Tafel nochmals die Funktion eines sogenannten Protein-Tags, der bei der Affinitätsaufreinigung, wie im Text beschrieben, ähnlich dem Schlüssel-Schloss-Prinzipes aus der Biologie, eine spezifische Bindung des Zielproteins mit der Matrix ermöglicht. Dass sich nur zwei Schüler am Gespräch beteiligten, war ich verwundert. Auf Nachfragen erklärten die Schüler, den Text nicht verstanden zu haben. Ich versuchte sie nochmals dafür zu motivieren, indem ich versuchte, das Ziel dieser Textarbeit, den Umgang mit fremdsprachlicher Fachliteratur ohne wortwörtliches Verstehen, zu transportieren. Ich erklärte, dass wir auf Grund der fortgeschrittenen Zeit mit der Erarbeitung der Affinitäts-Chromatografie auf deutsch in der nächsten Stunde fortfahren würden und wies sie an, sich in der verbleibenden Zeit nochmals in Partnerarbeit über den Inhalt des Textes austauschen.

4.6 Reflexion der zweiten Doppelstunde

Die Wiederholung durch einen Schüler war gut, so konnte ich erkennen ob die Inhalte der letzten Stunde von den Schülern verstanden worden waren und die fehlenden Schüler wurden schnell durch einen ihrer Mitschüler informiert. Ich hätte die Wiederholung der Stunde jedoch straffer organisieren müssen. Durch gezieltes Nachfragen meinerseits hätte ich mir ein umfangreicheres Bild innerhalb der Klasse verschaffen müssen, nicht nur einen Schüler herausgreifen. Auch hätte ich durch Fragen überprüfen müssen, ob die fehlenden Schüler der letzten Stunde die Zusammenfassung verstanden hatten und die Abläufe nachvollziehen konnten.

Ich war überrascht, dass den Schülern der Ablauf des Gruppenpuzzles nicht geläufig war. Die Schüler kannten die Trennung in die einzelnen Phasen nicht (Einzelarbeit, Expertengruppen, Stammgruppen) und wollten sofort in den Expertengruppen beginnen. Ich musste den Ablauf nochmals ausführlich darlegen, wodurch die Organisation länger dauerte. Dennoch hätte ich durch bessere Vorbereitung auf die Skizze an der Tafel verzichten können und die kurze Verwirrung der Schüler minimieren können. Es wäre gut gewesen, wenn ich eine Folie vorbereitet gehabt hätte.

Die Folie sollte Folgendes beinhalten:

Ablauf und Struktur der Gruppeneinteilung, zeitlicher Ablauf der Arbeitsphasen, Platzorganisation der Gruppen im Klassenraum.

Durch Auflegen der Folie während der gesamten Arbeitsphase können sich die Schüler immer wieder orientieren.

Auch die Einhaltung der Zeitgrenzen der einzelnen Phasen sollte durch die Schüler erfolgen, die Schüler warteten allerdings darauf, von mir konkrete Anweisungen zu erhalten, so dass ich während der Erarbeitung die zeitliche Einhaltung der Arbeitsphasen kontrollieren musste. Dies kann aber nur durch häufiges Einüben und Anwenden der Methode trainiert werden.

In einem abschließenden Gespräch teilten mir die Schüler mit, dass sie diese und andere Formen der Gruppenarbeit normalerweise nicht mögen. Sie sagten, dass die Gruppenphasen häufig nur zum „Quatschen“ verwendet würden und sie somit die Informationen nicht richtig erarbeiten würden. Den jetzigen Ablauf mit der expliziten Einzelarbeitsphase zu Beginn fanden sie besser. Die Schüler hatten festgestellt, dass jeder Einzelne etwas in der Expertenrunde zur Diskussion beisteuern konnte und dieses Wissen später in seiner Stammgruppe auch mehr oder weniger fundiert weitergeben konnte.

Eine Schwierigkeit in dieser Stunde stellte der englischsprachige Text dar. Ich hatte mich bewusst an dieser schwierigen Stelle für einen englischsprachigen Text entschieden. Dies hatte mehrere Gründe:

Der Text sollte zum Transport von wissenschaftlichen Inhalten in die Schule dienen; dazu wurde der Text von mir aus dem „Amersham affinity chromatography - Principles and Methods“ Biosciences Handbook von 2002 [16] entnommen und für die Schüler umgesetzt (Vereinfachung und Reduktion des Inhaltes, Angaben von Fachbegriffen mit Übersetzung).

Bewusst wurde hier die Affinitätsaufreinigung, eine vom Verständnis sehr anspruchsvolle Stelle, gewählt, da hierzu ausreichend Literatur vorhanden war, welche sich gut eignete, und das Verstehen zusätzlich mit den Modellen unterstützt wurde.

Leider stellte ich fest, dass die Schüler durch die Sprache abgeschreckt waren und sich so selbst blockierten. Meine Aufforderung, sich den Text nicht durch wortwörtliche Übersetzung, sondern über den Kontext zu erschließen, half nicht weiter. Meine Intention, einen schwierigen Text in einer Fremdsprache als Herausforderung anzugehen, konnte ich nicht richtig transportieren. Es wäre gut gewesen, den Schülern zusätzlich zu dem kleinen Wörterbuch auf dem Arbeitsblatt Lexika an die Hand zu geben, in denen sie bei Bedarf Wörter nachschlagen könnten. Es kommt oft vor, dass den Schülern eigentlich bekannte Begriffe entfallen sind, wodurch das Verstehen des Gesamttextes nicht an den Fachtermini, sondern an allgemeinen Begriffen und Worten scheitert.

Auf Grund dieser Schwierigkeiten musste ich die Erarbeitung des Textes in die folgende Stunde mit übernehmen.

Die Komplexbindung wurde für die Affinitäts-Chromatografie nicht vertieft behandelt. Das Thema „Komplexe“ findet sich im Bildungsplan 2003 in Lehrplaneinheit 9 der Oberstufe: Freie Themen, welche z.B. nach der Abiturprüfung behandelt werden können.

Da es sich nur um eine Leihklasse gehandelt hatte, wurde diese Thematik durch mich nicht an dieser Stelle vertieft, sondern hauptsächlich auf die bereits durchgeführte Biuretreaktion (Kupferkomplex) verwiesen.

Ich entschied mich hier klar gegen eine differenzierte Erläuterung der Affinitäts-Chromatografie (Metallionen, aromatische Ringsysteme an Aminosäureresten, wie Komplexe die sich mit den Histidinresten bilden können).

Auf diese Art der Bindung wurde nur kurz in einer Tabelle auf dem englischen Arbeitsblatt verwiesen [A13], ebenfalls erläuterte ich in der Stunde auf Grund einer Nachfrage den beim im Praktikum verwendete GFP-Protein eingesetzte Histitin-Tag-Nickelionen-Komplex.

Dazu thematisierte ich kurz den Aufbau des Histidins (aromatischer Rest) und verdeutlichte dann mit einer Skizze, wie das Ni^{2+} -Ion der Säulenmatrix mit dem aromatischen Histidin-Tag des Proteins einen Komplex eingeht (ohne Verwendung des Orbitalmodells).

Dies wurde aber nicht von den Schüler bei der Erarbeitung der 3 Phasen einer Affinitäts-Chromatografie verlangt, da es den zeitlichen Rahmen ebenso wie den Wissenstand der Schüler bei Weitem überstiegen hätte. Allerdings besteht hier eine gute Möglichkeit der Erweiterung des hier vorgestellten DUE-Themas. Die Affinitätsaufreinigung, vor allem die Komplexbildung, bietet vielseitige Möglichkeiten, tiefer in die chemischen Grundlagen einzusteigen und z.B. auch das Thema „Komplexe“ nach dem schriftlichen Abitur schülerzentriert und anwendungsorientiert zu erarbeiten.

4.7 Unterrichtsverlauf der dritten Doppelstunde

Am Anfang der dritten Doppelstunde griff ich den englischen Text nochmals auf, da ich am Ende der letzten Unterrichtsstunde erkannt hatte, dass viele Schüler nicht viel aus dem Text heraus gelesen hatten. Ich versuchte nochmals zu erklären, dass es mir nicht um eine wortwörtliche Übersetzung ging, sondern eine inhaltliche Wiedergabe. Die Schüler erhielten daraufhin fünf Minuten Zeit den Text erneut zu überfliegen. Im anschließenden Lehrer-Schüler-Gespräch formulierte ein Schüler dann eine gelungene, griffige Zusammenfassung, so dass auch den anderen der Textinhalt klar wurde.

Diese Zusammenfassung nahm ich als Überleitung zu der folgenden Erarbeitung des dreistufigen Ablaufes einer Affinitäts-Chromatografie.

Hierzu teilte ich den Schüler das Übersichtsblatt [A14] aus und brachte das Modell der Affinitätsaufreinigung [A15] an der Tafel an. Nun forderte ich die Schüler auf, ihre Vorstellung vom Ablauf der ersten Phase solch einer Aufreinigung zu formulieren und mittels des Modells zu modellieren.

Nach Beschreibung des Schülers sortierte ich das Modell an der Tafel. In einem knappen Lehrer-Schüler-Gespräch formulierten wir kurz die wichtigsten Teilschritt und Vorgänge, so dass die Schüler im Anschluss daran selbstständig in der Lage waren, das Modell auf ihrem Übersichtsblatt zu skizzieren und kurz zu beschreiben.

Nach dem selben Prinzip verfahren wir bei der Erarbeitung der beiden anderen Phasen; die Schüler zeigten auch hier im Gespräch durch fachlich fundierte Fragen (z.B.: Weshalb bleibt das Zielprotein während des Waschschrattes an die Matrix

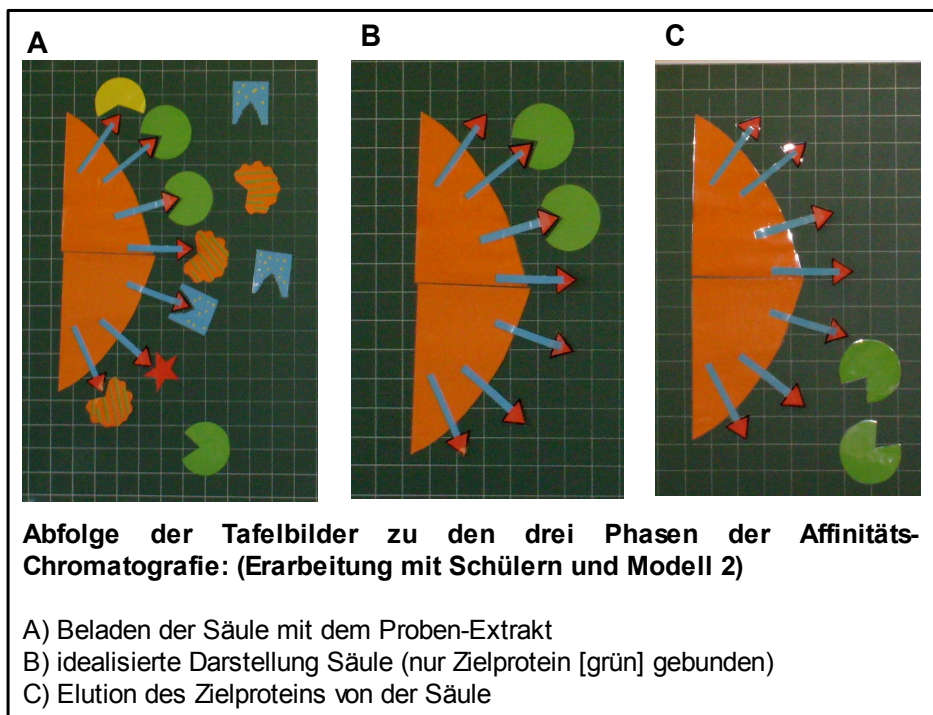
gebunden?) ihr Interesse und Verständnis am Thema.



So entstand gegen Ende eine komplette Grobübersicht über die Teilschritte der Affinitätsaufreinigung, wobei jeder Schüler den Ablauf in seinen eigenen Worten formuliert hatte [A16]. In einem kurzen Lehrervortrag verdeutlichte ich den Schülern am Modell nochmals das Problem, dass man bei solchen Aufreinigerungsverfahren nie hundertprozentig reine Ergebnisse erhält und auch nie hundertprozentige Ausbeuten.

Mit Bezug auf das Praktikum erläuterte ich, dass die Reinheit des Produktes mit der Häufigkeit des Waschschrittes zusammenhängt (was jede Gruppe dort dann im Selbstversuch erfahren konnte) und man die Eluate und Durchläufe aller Schritte aus Vorsicht und zum Vergleich sammelt (Fraktionen).

Ein Schüler fragte daraufhin, weshalb man dann solch eine „unsaubere“ Methode anwende, worauf hin ich erklärte, dass es sich bei der Affinitäts-Chromatografie noch um eine der präzisesten Methoden handelte. Mit dem Vergleich zu einer Hochglanz-PCR-Analyse in der Fernsehserie CSI, die den Schüler zum Teil geläufig war, versuchte ich ihnen zu verdeutlichen, dass man strikt zwischen der Darstellung einer Methode im Fernsehen oder den Medien und der eigentlichen Arbeit und den Ergebnissen im Labor trennen muss.



Dies war zugleich ein guter Übergang zum letzten Punkt, der noch zu erarbeiten war: die Identifikation des Zielproteins. Auf dem Arbeitsblatt zur SDS-PAGE-Gelelektrophorese [A17] forderte ich die Schüler auf, sich die dort abgebildete Aufnahme eines Geles genau zu betrachten. Ich erklärte, dass man die in der Aufreinigung gesammelten Fraktionen auf ein Gel aufträgt, um die enthaltenen Proteine zu identifizieren. Ich wies darauf hin, dass es Proteine oder Proteinfragmente in den Zellen geben kann, welche - wie das Zielprotein - eine hohe Affinität zur Säulenmatrix aufweisen können: der letzte Schritt muss also eine Identifikation der Fraktion sein, in der das Zielprotein in großer Menge (und möglichst rein) vorhanden ist.

In der anschließenden Einzelarbeitsphase bearbeiteten die Schüler das Arbeitsblatt zur SDS-PAGE-Gelelektrophorese sehr zügig. Die Ergebnisse wurden durch einen Schüler an einer Overheadfolie [A18] besprochen, der auch das Prinzip der Elektrophorese Auftrennung anschaulich erläuterte.

Somit war der theoretische Teil der DUE abgeschlossen und ich begann damit, die Schüler auf das Praktikum vorzubereiten. Zu diesem Zweck hatte ich mir eine Pipette, kleine Falcon-Gefäße und Eppendorf-Gefäße von der Universität besorgt. Die Schüler erhielten das Praktikumsskript und die Aufgabe, es sich nun durchzulesen, um einen ersten Eindruck von ihrer praktischen Aufgabe zu erhalten. Im Anschluss daran sollte jeder von ihnen mit den kleinen Eppendorf-Gefäßen und Folienstiften üben, diese Gefäße zu beschriften, da dies im Praktikum ebenso erforderlich war. Parallel dazu erläuterte ich den Schüler am Pult in Einzeleinweisung die Funktion und Handhabung einer Feinpipette (Aufstecken und Abwurf der Spitzen, Einstellung und Ablesen des Volumens). Besonderen Wert legte ich dabei darauf, dass jeder Schüler eine vorgegebene Menge an Wasser von einem Gefäß in ein Eppendorf-Gefäß umpipettierte, da gerade das korrekte Pipettieren, vor allem der Puffern und Produktlösungen im Praktikum, wichtig ist. Dabei stellt ich fest, wie beeindruckt die Schüler von diesen Geräten waren und wie umsichtig und vorsichtig sie diese bedienten.

4.8 Reflexion der dritten Doppelstunde

Die Erarbeitung des englischen Textes gelang zu Beginn dieser Stunde besser als am Ende der letzten. Dies kann zum Einen daran liegen, dass der Text schon bekannt war oder zum Anderen daran, dass mit dieser Erarbeitung begonnen wurde und die Schüler zuvor keine anstrengende Arbeitsphase hatten.

Der Informationstext stellte den Gesamtprozess der Affinitäts-Chromatografie dar. Eventuell hätte ich bei der Erstellung des Informationstextes den Schwerpunkt mehr auf die Teilprozesse der Aufreinigung legen müssen und diese detaillierter beschreiben. Das Modell konnte diese Aufgabe für einzelne Schüler nicht übernehmen. Eine andere Variante wäre es gewesen, den Informationstext den Schülern auf deutsch zu geben. Den Schülern fällt es leichter, Informationen in ihrer Muttersprache zu erfassen. Allerdings wäre dadurch ein Kernpunkt meiner Absicht, das Erfassen von Informationen aus fremdsprachlicher Literatur, weggefallen.

Die Erarbeitung der Affinitäts-Chromatografie mit einem Modell war wichtig. Die

Entwicklung einer Modellvorstellung alleine aus einem Text ist für die Schüler sehr (für viele noch zu) kompliziert. Allerdings hätte ich diese Erarbeitung weniger lehrerzentriert gestalten müssen. Anstatt auf Beschreibungen der Schüler hin, das Modell selbst umzusortieren, wäre es besser gewesen, das Modell zu verkleinern und an zweier oder dreier Schülergruppen auszugeben. So können die Schüler entsprechend ihrem individuellen Tempo eine Erarbeitung nachvollziehen und sich bei Problemen in einer kleinen Gruppe gegenseitig bei der Erklärung helfen.

Eine Kontrolle des erarbeiteten Ablaufs hätte dann mittels einer Folie oder des großen Tafelmodells und mehr Modellteilen (und dadurch paralleler statt nacheinander erfolgender Darstellung der Einzelschritte) erfolgen können. Diese hätte zu einer größeren Aktivierung aller Schüler führen können. Nicht nur die Schüler, die an der Tafel oder Folie präsentieren, wären, an der Ergebnisfindung beteiligt gewesen, sondern alle Mitglieder der Kleingruppen.

Sehr gut wäre auch nach dieser Phase ein kurzer Film oder eine kleine Animation des gesamten Ablaufes der Affinitäts-Chromatografie gewesen. Dies hätte die dynamischen Prozesse nochmals verdeutlicht und zu einer Vertiefung der Vorstellung bei den Schülern geführt. Statt einer statischen Momentaufnahme wäre den Schülern die fließenden Übergänge und Verdrängungsprozesse, die während der Säulenaufreinigung ablaufen, noch klarer geworden.

Die Vorbereitung auf das Praktikum hätte ich anders planen müssen. Es ist wichtig, dass die Schüler den Umgang mit den Geräten durch eigenständiges Tun erlernen. Leider waren viel zu wenige Pipetten vorhanden. Besser wäre es gewesen, die Übungsphase mit den Pipetten und Gefäßen in der Universität direkt vor den Beginn des Praktikums zu legen. So wäre mehr Übungsmaterial als auch die zeitliche Nähe zum praktischen Arbeiten vorhanden gewesen.

Auch die Arbeitsanweisungen für die anderen Schüler müssen präzisiert werden. Die Schüler befolgten im Unterricht nicht alle meine Anweisung, das Skript zu lesen und sich eventuelle Fragen und Unklarheiten zu merken und aufzuschreiben oder waren zu schnell damit fertig. So langweilten sich diese Schüler, während ich mit der Einführung in die Pipettenhandhabung beschäftigt war.

Dies hätte ich umgehen können, wenn die Schüler in dieser Zeit Berechnungen wie die Pufferkonzentrationen oder Mengenumrechnungen, die sie im Praktikum brauchen, hätten lösen müssen. So hätten sie in Kleingruppen wichtige Rechenübungen durchführen können und der Leerlauf wäre minimiert gewesen

4.9 Verlauf des Praktikums

Die Schüler trafen sich mit mir an der Haltestelle und gemeinsam gingen wir zum Universitätsgebäude. Die Gruppe war sehr aufgeregt und neugierig. Kaum angekommen, ging es mit der Einführung durch die beiden Mitarbeiter, Herr Dr. Focke und Frau Demand, los. Die Schüler waren über den strafferen Umgangston und das förmliche Siezen durch die Mitarbeiter überrascht.

Das Praktikum begann mit der Einteilung der Schüler in Gruppen (zwei dreier und zwei vierer Gruppen) und einer kurzen Einweisung der Gruppen an ihrem Arbeitsplatz in das Arbeitsgerät.

Da die Schüler andere Pipetten vorfanden als die Übungspipette in der Schule, folgte

eine kurze Einweisung jeder Gruppe und eine schnelle Pipettierübung. Um einen zügigen Ablauf zu ermöglichen, wurden den Schülern gleich die Bakterienproben zur Aufarbeitung übergeben (siehe Praktikumsskript im Anhang [A19]). Während des Lysatverbaus erfolgte der erste Vortrag [A20]. Frau Demand stellte den Schülern kurz die Universität Karlsruhe (TH) sowie das Botanische Institut 2 vor und erläuterte, welche Möglichkeiten es für die Schüler gab, hier an der Universität zu arbeiten. Neben der Möglichkeit eines Studiums erläuterte sie auch kurz die Ausbildungsmöglichkeiten, die es gibt.



Vortrag einer Mitarbeiterin des Botanischen Instituts 2

Nun schloss sich wieder eine kurze praktische Phase an, in der die Probe durch Ultraschall aufgeschlossen wurde. Da diese Phase in einer geschlossenen Apparatur abließ, genügte eine Gruppe, die den Ultraschallaufschluss bearbeitet (Kühlung-Aufschluss-Zyklus), während die anderen Schülergruppen in dieser Zeit von den Mitarbeitern

durch das Institut geführt wurden.

Im Anschluss an die Führung bereiteten alle Gruppen ihre Säulen für die Aufreinigung vor. Dabei kam es häufig zu längeren Pausen zwischen den einzelnen Vorbereitungsschritten, da das Waschen und Äquillibrieren der Säulen ein langwieriger Prozess ist. Bei der anschließenden Aufreinigung der Probe auf den Schülersäulen kam erschwerend hinzu, dass manche der Säulen schneller liefen als andere, wodurch die Schülergruppen nicht mehr parallel arbeiteten. Die Waschschritte zogen sich sehr in die Länge. In den Pausen zwischen den einzelnen Schritten kam es zu ausführlichen Gesprächen mit den Betreuern, wobei die Schüler viele Fragen hatten:

„Wie läuft ein Studium ab? Welche Voraussetzungen sind wichtig? Ist es besser mit einem klaren Ziel ein Studium zu beginnen oder mit offenen Augen und Ohren sich erst eine spezifische Studienrichtung zu wählen? (Diese Frage bezog sich auf die Spezifizierung im Hauptstudium Biochemie oder Verhaltensbiologie). Die Fragen wurden mit großer Geduld von den Mitarbeitern beantwortet, wobei ich mich zurückhielt.

Nach einer Mittagspause, die leider nicht in der Mensa stattfinden konnte, da diese Samstags geschlossen hatte, ging es dann mit der eigentlichen Aufreinigung weiter. Das Beladen der Säulen mit der Probe dauerte einige Zeit. Diese Zeit wurde erneut mit einem Vortrag von Frau Demand [A20] über die Forschungsarbeit der einzelnen Gruppen innerhalb des Botanischen Instituts 2 genutzt.

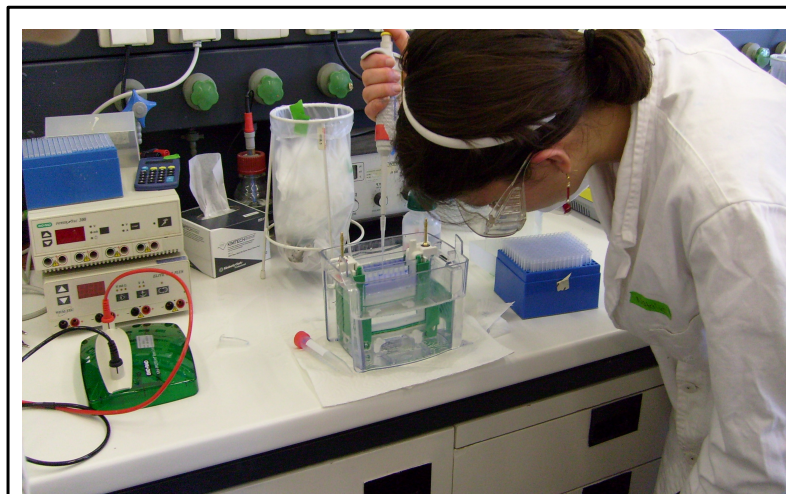
Dabei wurden von einigen Schüler sehr viele Fragen gestellt, die z.T. nur auf weit über dem Schulniveau liegenden Niveau von Frau Demand erklärt werden konnten. Z.B. fragte eine Schülerin, wie es zum Ablesen eines Gens in der Zelle kommt, da die Zelle ja nicht nachdenken könne und den Prozess gezielt steuern könnte.

Im Anschluss kam es noch zu einer spontanen, intensiven Diskussion der Schüler mit den beiden Betreuern über gentechnische Versuche im Institut und im Allgemeinen, wobei einige wenige Schüler intensiv mitdiskutierten und andere Schüler sich komplett ausklinkten. Schön war, dass man erkannte, wie die Schüler, die sich beteiligten, durch die Argumente der Forscher ihre festgefahrenen Meinungen lockerten, weil sie eine neue Sichtweise erfuhren.

Ein Schüler warf zu Beginn ein, dass man bei Gentechnik keine Grenze ziehen könne zwischen Grundlagenforschung und Anwendung und deshalb jeder Eingriff in die Natur verwerflich sei. Dies wurde durch eine Schülerin bekräftigt, die betonte, dass natürliche Landwirtschaft für die Menschen besser sei. Herr Focke entgegnet daraufhin, dass die Landwirtschaft, welche sie als natürlich bezeichnete, alles andere als natürlich sei, da die heutige Landwirtschaft von einer natürlichen Nutzung ebenso weit entfernt sei wie die Gentechnik von einem unveränderten Genom.

Auch die Darlegung von Züchtung als Eingriff des Menschen und die Darstellung der Gentechnik als neues Instrument der Züchtung beeindruckte die Schüler. Dabei kam es während des Gespräches nicht zu einer Missionierung der Schüler, sondern es fand ein reger Gedankenaustausch statt, durch den sich die Beteiligten eigenständig ihre Meinung bilden konnten.

Im Anschluss wuschen die Schüler ein letztes Mal ihre Probe auf der Säule und begannen dann mit der Elution des Zielproteins GFP. Dabei sammelten sie verschiedene Fraktionen.



Schülerin beim Beladen der SDS-PAGE-Gele mit Proben

Die Gruppen verglichen ihre erhaltenen Fraktionen wie im Skript beschrieben [A19] unter der UV-Lampe und wählten ihre beste Fraktion (mit der höchsten GFP-Konzentration) aus. Die verschiedenen Proben der einzelnen Fraktionen, welche die Schüler über die gesamte Aufreinigung gesammelt hatten, wurden für die Beladung des SDS-PAGE-Geles vorbereitet.

Zum Abschluss luden die Schüler der einzelne Gruppen ihre Proben sowie Marker auf zwei vorbereitete SDS-PAGE-Gele und starteten die Elektrophorese.

Nachdem die Gruppen ihre Plätze aufgeräumt hatten, gab es eine kurze Abschlussbesprechung, bei der ich den Schülern einen Feedbackbogen [A21] gab und sie bat, mir diesen im Laufe der nächsten Woche zukommen zu lassen.

In der anschließenden Unterrichtsstunde besprach ich mit den Schülern noch kurz die von ihnen beladenen Gele und die daraus resultierenden Aussagen über ihre Arbeit.

4.10 Reflexion des Praktikums

Die Wahl, den praktischen Teil der DUE komplett an die Universität und ein separates Praktikum auszulagern, war richtig. Weder wäre es möglich gewesen die benötigten Materialien und Geräte in ausreichender Menge und Umfang an der Schule bereitzustellen, noch hätte das Praktikum die besondere und herausgehobene Stellung erhalten, welches es durch den Besuch der Universität, als einem neuen Lernort, hatte.

Wie in 3.2.2 erwähnt, hatte ich mich dazu entschlossen, die Arbeitsabläufe im Praktikum linear zu gestalten. Zwar war durch den strikt vorgegeben Ablauf eine Beteiligung der Schüler bei der Planung in diesem Fall nicht möglich, hätte die Schüler bei dem hier behandelten Thema auch zum Großteil überfordert. Ihnen fehlte das Wissen um die vorhandenen Geräte und Möglichkeiten, aber auch andere Grundlagen, wie Umgang mit Bakterienproben etc..

Zu Beginn war ich sehr beunruhigt, ob das Praktikum von den Schülern angenommen wird und sie nicht vom Niveau der Handhabungen und Arbeitsschritte überfordert wären. Diese Angst war schnell beigelegt, als ich sah, mit welchem Interesse und Engagement die Schüler die Arbeiten begannen.

Durch den strikten linearen Ablauf kam es während des Praktikums häufig zu längeren Pausen oder Wartezeiten, besonders beim Lysatverdau, der Zentrifugation und den Waschschritten des Säulenmaterials und der Probe.

Einige der Pausen (Lysatverdau, Ultraschallaufschluss) waren von vornherein in der Planung berücksichtigt und mit Vorträgen bzw. der Institutsführung verplant worden. Andere Pausen waren in ihrem Umfang und ihrer Länge bei der vorherigen Planung nicht als so lange erkannt worden. Sie ergaben sich aus der langsameren Arbeitsweise der Schüler (im Vergleich mit Studenten als Vergleichsgruppe), die mit den ungewohnten Materialien zurecht kamen, allerdings in einem langsameren Tempo arbeiten. Leider hatte ich dies bei der Planung vorher nicht berücksichtigt und so disponierte ich während des Praktikums um.

Auf Grund der fortschreitenden Zeit wurden die Waschschriffe des Säulenmaterials [A19] sowohl in ihrer Anzahl als auch in der Menge des aufzutragenden Puffers verringert, um Zeit einzusparen. Dies gelang zum Teil, da allerdings die Säule einer Gruppe kurzzeitig verstopfte, kam es auch hier zu einer weiteren Verzögerung, bis es in die Mittagspause ging.

Da wir an einem Samstag in der Universität waren und der Zugang zum Gebäude nur über eine Chipkarte möglich war, verließen die Schüler das Gebäude während der Mittagszeit gemeinsam.

In der zweiten Hälfte des Praktikums kam es nach dem zweiten Vortrag zu der im Verlauf beschriebenen Diskussion über Gentechnik. Zwar wäre es besser gewesen, zügig weiter zu arbeiten, jedoch lies ich die Schüler hier weiter diskutieren, da sich ihnen die Möglichkeit bot, mit direkt „betroffenem“ Fachpersonal über dieses aktuelle und interessante Thema zu diskutieren. Meine Überlegung war: Wann erhalten die Schüler, welche es stark interessiert, nochmals solch eine Gelegenheit zu einer ausführlichen Diskussion?

Ich wollte diesen Schülern hier einfach die Möglichkeit zu dieser Diskussion auf gehobenem Niveau geben.

Durch diese weitere Verschiebung des Zeitplans entschloss ich mich, auch die Wasch- und Elutionsschritte bei der Affinitätsaufreinigung [A19] zu verkürzen und in ihrer Menge zu verändern. Aus diesem Grund wurden pro Gruppe nur vier Fraktionen statt der geplanten 10 Fraktionen gewonnen.

Durch die Elution mit einer größeren Menge an Elutionspuffer konnten die Schüler zwar schön die Elution verfolgen, jedoch sammelte sich die größte Menge des GFP-Eluats in einem Eppendorfgefäß und war mit bloßem Auge identifizierbar. Dadurch war die Aufgabenstellung, das Gefäß mit der höchsten GFP-Menge mittels der UV-Lampe zu ermitteln [A19], hinfällig.

Ebenfalls nicht mehr möglich war auf Grund der mangelnden Zeit Versuch 2.5, die Inaktivierung des GFP [A19]. Dieser Versuch war allerdings von vornherein als Puffer-Versuch eingeplant worden und hätte den Schülern keine wesentlich neuen Erkenntnisse geliefert.

Die oben beschriebenen Pausen wären bei einem anderen, verschachtelten Praktikumsverlauf vermeidbar gewesen. Ähnlich einer modernen Kochsendung hätte das technische Personal der Universität einzelnen Zwischenschritte schon erledigen können, so dass die Schüler verschiedene, sonst nur nacheinander mögliche Arbeitsphasen parallel und zeitversetzt erledigen gekonnt hätten (z.B. Auftragen eines vorbereiteten Zellextraktes auf die Säulen während des Lysatverbaus der anderen Bakterienproben).

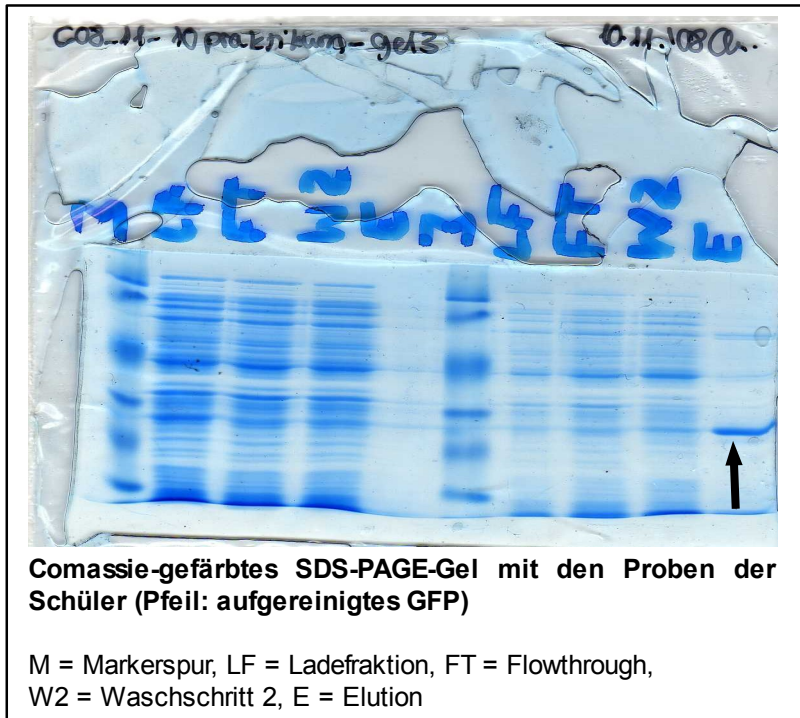
Allerdings wurde darauf, wie schon erwähnt, mit Rücksicht auf die Übersichtlichkeit des Ablaufes verzichtet.

Durch die Linearität war gewährleistet, dass die Schüler den Aufwand und das logische, schrittweise Vorgehen erkennen, die hinter solch einer Analyse stecken.

Andere Möglichkeiten, die entstanden Pausen zu nutzen, wären gewesen, die Schüler die benötigten Pufferlösungen selbst ansetzen zu lassen oder die Herstellung der SDS-PAGE-Gele aus einer Acrylamidmischung unter Anleitung. Hierbei war aber die Gefahr für die Schüler zu groß, da nicht polymerisiertes Acrylamid krebserregend ist.

Auch die Anwendung einer alternativen Aufreinigungsmethode, dem sogenannten Batch, statt einer Säule, hätte man überlegen können. Dies hätte dann einer Umstellung auch der in der Schule behandelten Methoden in Hinblick auf das Praktikum bedurft.

Ebenfalls hätte man Versuch 2.5, die Inaktivierung, in den Pausen durch die Schüler ausführen lassen können. Dafür hätte aber durch das technische Personal schon aufgereinigtes GFP vorhanden sein müssen. Die kurze Abschluss-besprechung der SDS-PAGE-Gele hätte besser in den Unterricht integriert werden können, indem man der Interpretation der Gele durch die Schülergruppen mehr Zeit einräumt. Die Interpretation der Gel-Banden hätte nach kurzer Einweisung vollständig durch die Schüler unter Berücksichtigung von Interpretationshilfen, wie den Markerbanden, erfolgen können. Im Anschluss daran hätte noch eine Analyse der möglichen Fehlerquellen stattfinden können.



Die Schüler hätten die Sauberkeit ihrer Arbeitsweise ebenso wie Unterschiede in den Wasch- und Elutionsschritten analysieren und interpretieren können. Dies hätte zu einer intensiveren Auseinandersetzung der Schüler mit der angewendeten Methode geführt und in einer Zusammenschau die einzelnen Arbeitsschritte wiederholt.

5 Fazit

Abschließend lässt sich feststellen, dass die Schüler sehr positiv der DUE gegenüber eingestellt waren. Die aktuelle Thematik, die gerade durch die Nobelpreisvergabe gegeben war, motivierte die Schüler zusätzlich. Man merkte, dass sie Freude daran hatten, ein Thema mit neuen und auch tiefergehenden Denk- und Arbeitsweisen kennen zu lernen und anzuwenden.

Das Praktikum fand Anklang bei den Schüler, muss aber bei einer Wiederholung überarbeitet und verändert werden, um es anspruchsvoller und interessanter zu gestalten.

Meiner Meinung nach hat die Klasse die meisten Lernziele der Unterrichtseinheit erreicht. Einzig die Übertragung der am Beispielprotein GFP erarbeiteten Grundlagen der Gewinnung von Proteinen aus Bakterien auf andere, weitverbreitete Proteine wie Chymosin etc., haben einige Schüler nicht nachvollziehen können.

6 Literaturverzeichnis

- [1] <http://www.wissenschaft-schulen.de/>
- [2] Bildungsplan für das Gymnasium, Baden-Württemberg 2004
- [3] Bildungsplan für das Gymnasium, Baden-Württemberg 1994

Quellen, die bei der Erstellung der Arbeitsblätter verwendet wurden (Reihenfolge der Quellen nach ihrem Vorkommen):

- [4] Spektrum der Wissenschaft 3 / 2001
- [5] ZEIT ONLINE 21/1979 S. 67
[<http://www.zeit.de/1979/21/Erforscht-und-erfunden>]
- [6] Pabst, K., Geis A. und Bockelmann W. (Kiel); FORSCHUNGSREPORT 2/1998
- [7] Donatz, V. , Zahner J., Thieme eJournals / Abstract <http://www.thieme-connect.com/ejournals/abstract/ains/doi/10.1055/s-2001-15434;jsessionid=9807047CE892DFBF26BD59D6E996B18E.jvm4>
- [8] BioLab Baden-Württemberg on Tour Forschung Leben Zukunft, herausgegeben von der Landesstiftung Baden-Württemberg
- [9] Glick, B., Pasternak, J.: Molekulare Biotechnologie, Spektrum Verlag, Ausgabe 1995
- [10] Skript „ Mechanischer Zellaufschluss“ von I. Kampen und S. Michel zum Verfahrenstechnischen Laborpraktikum des iPAT Institut für Partikeltechnik an der TU Braunschweig
- [13] Kellermann, J.: Technologie & Trends Technologiereport, P&A Select Biotech 2007
- [14] Parr Instrument (Deutschland) GmbH <http://www.zellaufschluss.de/>
- [15] <http://www.gheinemann.de>
- [16] “Amersham affinity chromatography - Principles and Methods“ - Amersham Biosciences Handbook 2002
- [17] Praktikumsskript: Proteinaufreinigung, -quantifizierung und Aktivitätsnachweis am Beispiel von GFP von Dr. D. Kobbe 2008