

Dietmar Scherr und Rainer Werel

Biotechnologie in der Schule?

Ein Erfahrungsbericht aus dem ersten Kurshalbjahr

Max-Beckmann-Schule, Frankfurt
Stiftsschule St.Johann, Amöneburg

Februar 2003

Biotechnologie in der Schule? (Dietmar Scherr und Rainer Werel)

Nachfolgend wird ein Projekt vorgestellt, dessen Zielstellung es ist, zu prüfen, ob ein Curriculum „Biotechnologie“ in den Lehrplan der gymnasialen Oberstufe in Hessen aufgenommen werden kann. Ein solches Vorhaben kann nur fächerübergreifend und -verbindend angelegt sein, daher werden schwerpunktmäßig Inhalte der fachspezifischen Lehrpläne vor allem von Biologie und Chemie aufgegriffen. Biologie und Chemie ist eine Fächerkombination, die sehr häufig im Lehramt studiert wurde, so dass hier beste Voraussetzungen für in dieser Thematik kompetenten Fachlehrern an allen Schulen gegeben sind. Die in den naturwissenschaftlichen Lehrplänen geforderte Einbettung der Informationstechnologie in den fachlichen Kontext wird als ein wesentlicher Schwerpunkt angegangen. Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit der Justus-Liebig-Universität Gießen¹ durchgeführt. Die Evaluation erfolgt im Rahmen einer wissenschaftlichen Arbeit. Hier sollen vorab einzelne Teile aus der aktuellen Praxis dieses Schuljahrs vorgestellt werden.

Kürzlich erschien eine Serie in dieser Zeitschrift, die die Integration der Biotechnologie/Gentechnik in den Unterricht allgemeinbildender Schulen in anderen Zusammenhängen und mit unterschiedlichen Intensionen beschreibt [1].

Der naturwissenschaftliche Unterricht in der Schule kann sich nicht nur auf die grundlegenden fachlichen Aspekte beziehen, sondern muss auch aktuelle Entwicklungen – natürlich ohne die Grundlagen aus den Augen zu lassen – einbeziehen. Neben den wissenschaftspropädeutischen muss er auch die anwendungsbezogenen Fragen aufgreifen, wie sie sich in den Technologien widerspiegeln.

In jüngster Zeit finden Entwicklungen besonders an den Nahtstellen der drei Naturwissenschaften statt, die von besonderem allgemeinen Interesse sind. Wir meinen hier die Biowissenschaften mit Molekulargenetik, Biochemie und Zellbiologie. Die Nahtstelle zwischen Biologie und Chemie mit Anwendungen in der Biotechnologie hat vor allem im medizinischen Bereich und in der Lebensmittelproduktion an Bedeutung gewonnen und besitzt in der „roten Gentechnik“ eine breite gesellschaftliche Akzeptanz, wohingegen in der „grünen Gentechnik“ ein großes Konfliktpotenzial besteht. Technologien wirken im Alltag der Schülerinnen und Schüler und schaffen Tatsachen, die jeden Einzelnen in allen Bereichen des Lebens berühren. Biotechnologie findet eine starke Erwähnung in allen Medien, so wird ihr mitunter der gleiche Stellenwert als Zukunftstechnologie zugeschrieben wie der Informationswissenschaft. Viele Artikel in den Medien sind ohne fachspezifische naturwissenschaftliche Kenntnisse nicht verständlich, auch können fachbereichsübergreifende Fragestellungen zu ethischen und ökonomischen Aspekten dieser Technologie ohne naturwissenschaftliche Grundlagen nicht aufgegriffen werden, Bewertungen nicht erfolgen. Die Schülerinnen und Schüler stellen Fragen, deren Beantwortung die Schule leisten muss, will sie ihren Bildungsauftrag erfüllen. Dieser besteht auch darin, den Schülerinnen und Schülern eine Orientierung hinsichtlich einer Studien- und Berufswahl zu geben.

Im Berufsbereich hat man, da es hier aufgrund der sich rasch ändernden Anforderungen von Seiten der Berufswelt notwendig ist, die Curricula für die Ausbildung von technischen Assistentinnen und Assistenten in Zellbiologie, Molekulargenetik, Gentechnik etc. in Form von Unterrichtsmodulen [2] ergänzt. Im

¹. Beteiligt sind Prof. Dr. J. Mayer, Institut für Biologiedidaktik und Prof. Dr. M. Kröger, Institut für Mikrobiologie und Molekularbiologie.

allgemeinbildenden Schulbereich ist dies nur in wenigen Projekten bisher angedacht [3].

Das hier vorgestellte Projekt „Biotechnologie in der Schule“, welches an mehreren Gymnasien in Hessen zur Zeit stattfindet, soll auch eine Grundlage schaffen, aktuelle wissenschaftliche und technologische Entwicklungen an der Nahtstelle zwischen Biologie und Chemie zu verstehen und zu bewerten. Es ist besonders für Grundkurs-Schüler gedacht, die dem naturwissenschaftlichen Unterricht größtenteils eher skeptisch gegenüber stehen. Verständnis aber kann nur erwachsen aus dem sich Einlassen in die komplexe Materie und das Begreifen im wahren Sinne des Wortes. So wurde an den teilnehmenden Schulen eine Experimentalumgebung geschaffen, die es ermöglicht, eine Fülle von aussagekräftigen Experimenten durchzuführen und in diesem Zusammenhang verschiedene Schwerpunktthemen zu erarbeiten. Das zugrundeliegende Curriculum wurde in Ansätzen schon in den letzten Jahren im Rahmen des regulären Unterrichts der gymnasialen Oberstufe erprobt.

Ein modernes Curriculum muss fächerübergreifend und fächerverbindend sein. Kein anderer Anwendungsbereich der Naturwissenschaften zeigt deren Vernetzung besser auf als die Biotechnologie. Physikalische wie auch chemische Modelle dienen als Grundlage zur Beschreibung biologischer Vorgänge, die Messmethoden sind geprägt von einem Zusammenspiel von chemischen Reaktionen, einer physikalischen Messtechnik und der Informationsverarbeitung.

Die inhaltlichen Schwerpunkte sind beispielhaft nachfolgend aufgelistet:

- Klassische Biotechnologie mit Mikroorganismen, zum Beispiel der Milchsäuregärung und deren technologische Anwendungen, z. B. Probiotik, Grundlagen des Stoffwechsels,
- Stoffwechsel, Anwendungen in der Analytik und medizinischen Diagnostik, Enzyme : Molekulare Erkennung als eine Grundlage der Diagnostik
- Molekulargenetik/Gentechnik, z. B. im Pharmabereich, Gentechnik als zentrale Methode der Wirkstoff-Forschung als auch Wirkstoff-Produktion
- Projektarbeit: Das humane Genom-Projekt, z. B. Methoden der Genkartierung durch Restriktionsanalysen, Bewertung des humanen Genom-Projekts hinsichtlich seiner gesellschaftlichen und ethischen Folgen

Im ersten Halbjahr der Klasse 12 steht die klassische Biotechnologie im Mittelpunkt, die mit hohen experimentellen Anteilen – hier hauptsächlich in Form von Schülerexperimenten – und einem Bezug zur Anwendung in der Technologie geplant ist.

An vier ausgewählten Beispielen soll deutlich werden, aus welchem unterrichtlichem Hintergrund und mit welcher inhaltlichen Perspektive dies in die Praxis umgesetzt wurde.

Biotechnologie rund um die Milch

Das Nahrungsmittel Milch und die Milchverarbeitung sind für die Hinführung zu fächerübergreifender Betrachtung besonders geeignet, sei es wegen des landwirtschaftlich geprägtem Umfeldes einer der teilnehmenden Schulen, der (groß-)technischen Bearbeitung und Veredelung eines Naturproduktes oder der gentechnischen Produktion von Arzneimitteln oder Werkstoffen [4].

Die Inhaltsstoffe der Milch, damit sind die Hauptnährstoffe Eiweiße, Fette, Kohlenhydrate, Mineralstoffe und Vitamine gemeint, erschließen sich in relativ einfachen und dennoch informativen Experimenten:

Untersuchungsmethode

mikroskopische Untersuchung der Milch

*stoffliche Zusammensetzung der Milch;
qualitative Analyse*

*Herstellung und Untersuchung von
Milchprodukten*

Fachinhalte

*heterogene Gemische; Emulsionen; Emulgatoren;
Micellen;*

*Wasseranteil durch Destillation von Milch
einfache Nachweisreaktionen für die
Grundnährstoffe*

Kohlenhydrate → Fehlingprobe

Proteine → Biuretraktion

*Fette → Nachweis mit Sudan III –Lösung
darüber hinaus Nachweis von Ca^{2+} -Ionen als Ca-
Oxalat bzw. mit Merckoquant-Test*

*Joghurtherstellung mit Hilfe von *L.bulgaricus* aus
Bio-Joghurt*

*Nachweis der Säuerung; Caseinfällung
Süßmilch- und Sauermilchprodukte*

Beispiel 1: Lebendkeimzahlbestimmung in der Milch [nach 5]

Bei der Pasteurisierung von Rohmilch (40s bei ca. 72°C) wird eine große Zahl an Bakterien abgetötet, wodurch die Milch haltbarer wird. Zu diesen zählen auch Milchsäurebakterien. Endosporenbildende Bakterien und einige Schimmelpilzsporen bleiben dabei allerdings vermehrungsfähig. Pasteurisierte Vollmilch wird daher nicht nach wenigen Tagen sauer, wie frische Rohmilch, die relativ viele Milchsäurebakterien enthält, sondern bekommt nach längerer Zeit aufgrund der sich vermehrenden Sporenbildner einen schlechten, bitteren Geschmack. Die Milch hat einen „Stich“. Das folgende Verfahren dient dazu, die unterschiedlichen Keimtypen „Milchsäurebakterien“ und „Mikroorganismen, die nicht in der Lage sind, Milchsäure zu bilden“, in der Rohmilch und in der Vollmilch nachzuweisen. Eine Keimzahlbestimmung durch Auftragen unverdünnter Proben auf Agarplatten ist meist nicht möglich, da die Keimzahl normalerweise so hoch ist, dass keine zählbaren Kolonien heranwachsen, sondern sich ein zusammenhängender Mikrobenrasen bildet. Man verdünnt deshalb die zu untersuchenden Flüssigkeiten in mehreren Stufen um den Gehalt an vermehrungsfähigen Keimen zu reduzieren.



Abb. 1 Der mikrobiologische Arbeitsplatz



Abb. 2 Beschriften der Agarplatten



Abb. 3 Lactobacillen färben Chinablaulactose Agar blau

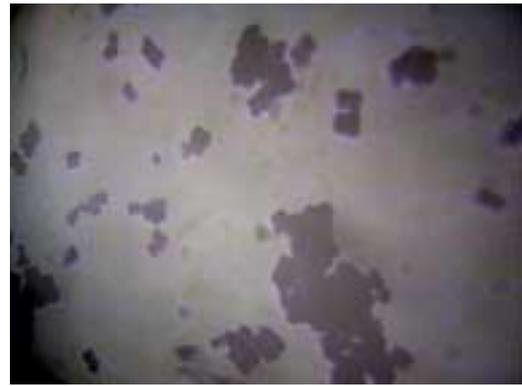


Abb. 4 Grampositive Lactobacillen

Die Mikroorganismen werden von der Agarplatte entnommen und einer Gramfärbung [5] unterzogen. Die grampositiven Lactobacillen und die gramnegativen coliformen Keime schließlich mikroskopisch untersucht. Die Gruppen dokumentierten ihre Ergebnisse in Form einer Powerpoint-Präsentation.

Im weiteren Unterrichtsgang nähert man sich, nachdem die biochemischen Aspekte der Milchsäure und Kohlenhydrate im Mittelpunkt standen (so z.B. auch die optische Aktivität und damit die Frage von „rechtsdrehenden“ Milchsäurebakterien- siehe Bsp.5), dem Energiestoffwechsel und damit einem zentralen Thema des Halbjahrs.

Beispiel 2: Die mikrobielle Brennstoffzelle nach [6]

Einfache Versuche zur Gärung [7] und [8] und zum oxidativen Kohlenhydratstoffwechsel [7] führen schließlich zur Endoxidation in den Mitochondrien. Elektrochemische Aspekte legen eine Analogie zur PEM-Brennstoffzelle (PEM = Proton Exchange Membran) bzw. der „mikrobiellen Brennstoffzelle“ [9] nahe.

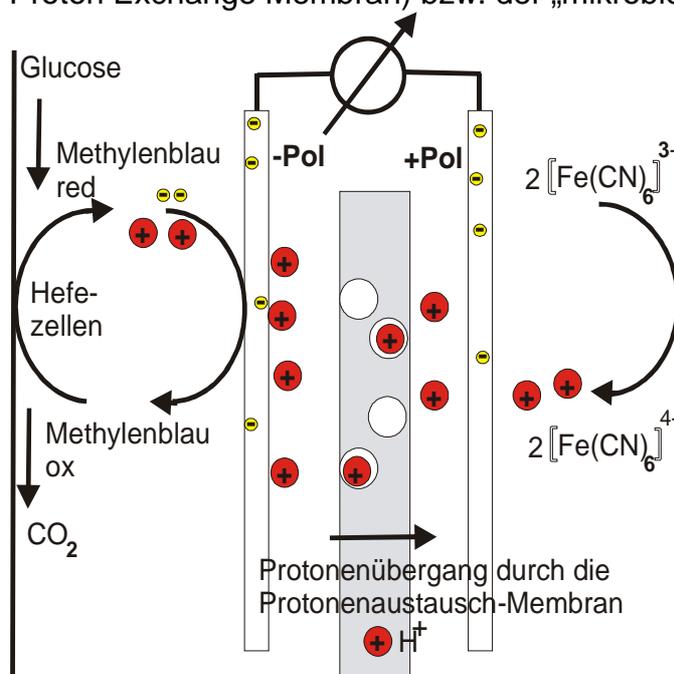
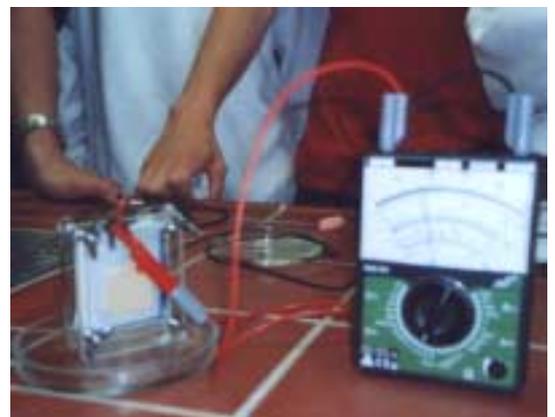


Abb. 5 Prinzip der „mikrobiellen Brennstoffzelle“



Versuchsaufbau (nach [6])

Bei diesem Konzept gewinnt man aus dem Kohlenhydratstoffwechsel von *Saccharomyces cerevisiae* durch Elektronenübertragung unter Vermittlung von Methyleneblau (red.) auf einen externen Akzeptor Fe^{3+} (- hier komplex gebunden in $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) elektrische Energie, die sich in einer Zellspannung von ca. 0,5 V äußert. Die Perspektiven der technischen Anwendung werden diskutiert und üben eine große Faszination auf die Schüler aus.

Beispiel 3: Käsebesichtigung

Die Einbeziehung außerschulischer Lernorte gehört als essentieller Bestandteil zum Konzept des Biotechnologieprojektes. Allerdings ist der Besuch von Schülergruppen in modernen „Hightech-Molkereien“ wegen der strengen Hygienevorschriften kaum noch möglich.



Abb. 6 Schneiden des Molkebruchs mit der Käseharfe



Abb. 7 Schöpfen des Molkebruchs

Im vorliegenden Fall ergab sich in einem traditionell geführten Bioland-Betrieb [10] die Möglichkeit der Besichtigung. Die Produktion von Süßmilchkäse konnte unmittelbar an diesem Vormittag verfolgt und das frische sowie weiter fermentierte Produkte verkostet werden. Insbesondere die strenge Einhaltung von hygienischen Vorkehrungen war den Schülern aus dem Versuch zur Lebendkeimzahlbestimmung einsichtig und vertraut.



Abb. 8 Frischgeschöpfter Käse



Abb. 9 Lager- und Reifekeller

Beispiel 4: Experimente mit immobilisierten Enzymen

Obwohl die Brauhefe *Saccharomyces cerevisiae* viele Zucker, wie Glucose oder Saccharose zu Ethanol und CO_2 fermentieren kann, besitzt sie nicht die enzymatische Ausstattung zur Umsetzung des Disaccharids Lactose. Wenn man die Hefe gemeinsam mit β -Galactosidase in einer Alginat-Matrix immobilisiert, kann die Hefe die durch enzymatische Hydrolyse der Lactose gebildeten Monosaccharide abbauen. Im Experiment wurde die unterschiedliche CO_2 -Produktion von Brauhefe mit und ohne β -Galactosidase im Bioreaktor untersucht [15].



Abb. 10 Immobilisierung mit Na-Alginat



Abb. 11 Monitoring mit einem Blasenähler

Beispiel 5: Rechtsdrehende Milchsäure?

In der Werbung trifft man immer wieder auf den Begriff der rechtsdrehenden Milchsäure als Qualitätsmerkmal. Durch Anwendung der Polarimetrie wird der Begriff verdeutlicht. Modelle der Milchsäure werden gebaut, verglichen und nach L- und D-Form sortiert. Chiralität und optische Aktivität werden so gegeneinander abgegrenzt. Informationen zur Substratspezifität von Enzymen helfen, die Werbeaussagen zu verstehen und vor allem zu relativieren. In diesem Zusammenhang wird die Chiralität der Kohlenhydrate diskutiert.



Abb.12 Glucosemodell in der Fischerprojektion

Beispiel 6: Informationstechnologie und ihre Anwendungen in der Schule

Die den komplexen molekularen biologischen Vorgängen zugrundeliegenden abstrakten Modelle bedürfen Visualisierungen, die Datenfülle (z. B. Sequenzdaten von Organismen) kann nur mit Hilfe großer Datenbanken sinnvoll organisiert werden. Diese sind im Internet frei zugänglich, Zugriffe können im Unterricht direkt erfolgen. Mit Hilfe einer Stichwortsuche in verschiedenen Datenbanken der „Scientific Community“ können die Schülerinnen und Schüler schnell auf die Daten, Literaturangaben und 3D-Modelle der meisten therapeutisch, in der medizinischen Diagnostik relevanten und biologisch interessanten Proteine zugreifen [11]. Weiterhin zugänglich sind Sequenzdaten [12], Vergleich von Sequenzen (BLAST) sowie z. B. Dienste zur RNA- und Proteinfaltung [13]. Für die Darstellung der 3D-Molekülmodelle wird das leicht zu erlernende Programm Rasmol [14], das frei im Internet angeboten wird, benötigt.

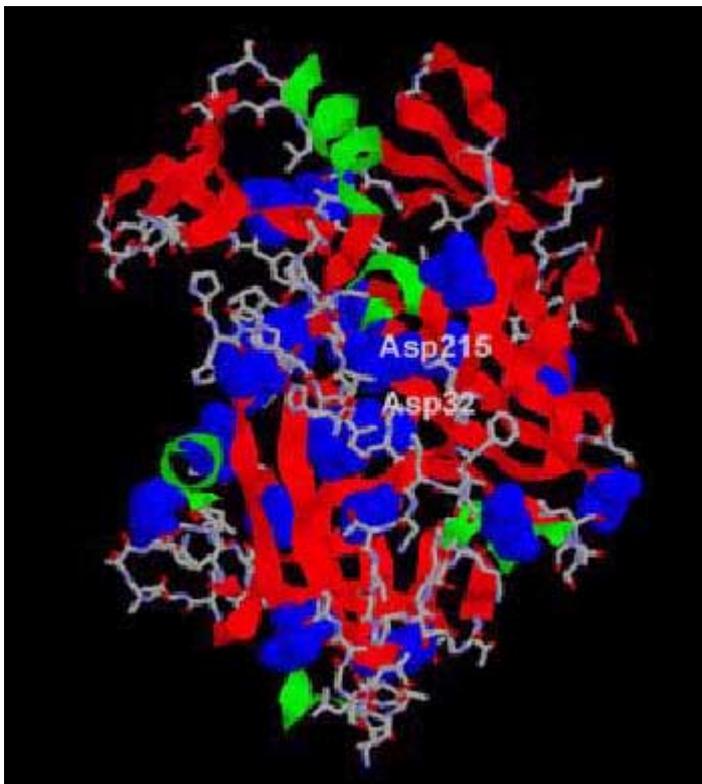


Abb. 13 3D Darstellung des für die Käseherstellung wichtigen Enzyms Chymosin (Endothia Aspartic Proteinase) mit Rasmol. Das Enzym wird heute weitgehend gentechnisch hergestellt.

- Protein Daten Bank PDB (ID 4ER4) [11]

Die für die Katalyse entscheidenden Asparaginsäuren Asp32 und 215 im aktiven Zentrum sind blau als Kalottenmodell dargestellt und gekennzeichnet. Daneben rot im Bandmodell die Falblattstrukturen und grün die helikalen Bereiche.

- [1] M. Schallies, „Naturwissenschaftlicher Unterricht im neuen Jahrhundert“, *BiuZ*, 32/1, (2002), A. Wellensiek, „Gentechnik im Unterricht: Aber wie?“, *BiuZ*, 32/2, (2002), A. Lembens, „Schüler testen ihr Blut im Genlabor“ *BiuZ*, 32/3, (2002), M. Schallies et. al. *Das Echo*, *BiuZ*, 32/4, (2002)
- [2] BLK Modellversuch Biotechnologie, Unterrichtsmodule zur Bioverfahrenstechnik, Molekularbiologie und Zellkulturtechnik, Bezirksregierung Arnsberg, Paul-Oventrop-Str. 7, 59939 Olsberg
sowie der Modellversuch in Baden-Württemberg: „Berufliches Gymnasium der dreijährigen Aufbauform biotechnologischer Richtung“ Sj. 2001 – 2004
Ministerium für Kultus, Jugend und Sport, Baden-Württemberg
Beteiligte Schulen: Berta-von-Suttner-Schule, Ettlingen
Johanna-Wittum-Schule, Pforzheim
Justus-Liebig-Schule, Waldshut-Tiengen
Valckenburgschule, Ulm
Käthe-Kollwitz-Schule, Esslingen
Merianschule, Freiburg
Christiane-Herzog-Schule, Heilbronn
- [3] E. Stupperich, Das NUGI-Konzept - Ein innovatives Netzwerk – Universität – Gymnasium – Industrie, *PdN-BioS* 8/49. Jg. (2000), S. 38
URL: <http://www.bioregioulm.de/nugi/>
- [4] „Aus Ziegenmilch wird Biostahl“, *FR*, 18.11.2002
- [5] Bayrhuber/Lucius: „Handbuch der praktischen Mikrobiologie und Biotechnik“, Hannover 1992
- [6] Bennetto, P. „Microbes come to power“ in *New Scientist* 16.4.1987
- [7] Bickel et.al in *Natura* „Stoffwechsel“, Stuttgart 1995
- [8] Schollar/Watmore „Practical fermentation“; <http://www.reading.ac.uk/NCBE>
- [9] Bennetto, P. „Bug Power“; <http://www.reading.ac.uk/NCBE>
- [10] <http://www.friedelhausen.de/>
- [11] <http://www.rcsb.org/pdb/>
- Foundling, S. I., Cooper, J., Watson, F. E., Cleasby, A., Pearl, L. H., Sibanda, B. L., Hemmings, A., Wood, S. P., Blundell, T. L., Valler, M. J., et al.: High resolution X-ray analyses of renin inhibitor-aspartic proteinase complexes. *Nature* 327 pp. 349 (1987)
- [12] National Center for Biotechnology Information <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>
- [13] Dienste zur RNA-Sekundärstruktur-Voraussage:
<http://www.bioinfo.rpi.edu/applications/mfold/old/rna/form1.cgi>
und zur Proteinsekundärstruktur-Voraussage:
<http://bmerc-www.bu.edu/psa/>
- [14] <http://www.openrasmol.org/>
- [15] Practical fermentation in <http://www.reading.ac.uk/NCBE>