pedocs
Open Access Erziehungswissenschaften

DIPF

Leibold, Kurt; Klautke, Siegfried

Lerneffektivität des Einsatzes gegenständlicher Modelle in Biologieleistungskursen des Gymnasiums

Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 5 (1999) 1, S. 3-23

Quellenangabe/ Reference:
Leibold, Kurt; Klautke, Siegfried: Lerneffektivität des Einsatzes gegenständlicher Modelle in Biologieleistungskursen des Gymnasiums - In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 5 (1999) 1, S. 3-23 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-315251 - DOI: 10.25656/01:31525

https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-315251
https://doi.org/10.25656/01:31525

in Kooperation mit / in cooperation with:

IPN
Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik

https://www.leibniz-ipn.de

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.
Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.
This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

pedocs
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften: Jg. 5, Heft 1, 1999, S. 3 - 23 ZfDN

KURT LEIBOLD UND SIEGFRIED KLAUTKE

Lerneffektivität des Einsatzes gegenständlicher Modelle in Biologieleistungskursen des Gymnasiums

Zusammenfassung:
Vier neue, für den Biologieunterricht entwickelte, gegenständliche Modelle des Elektronentransports bei der Photosynthese und der Biologischen Oxidation wurden in einer empirischen Untersuchung unterrichtlich erprobt und evaluiert. Ein besonderes Ziel des Modelleinsatzes war es, herauszufinden, ob der Unterricht mit den Modellen kognitive Leistungen von Schülern stärker fördert als der Unterricht ohne die Modelle. Wissenszuwachs und Problemlösungskompetenz repräsentierten dabei die kognitiven Schülerleistungen. Die Untersuchung war als Feldexperiment angelegt, das nach einem Vortest-Nachtest-Design durchgeführt wurde, und gliederte sich in eine Vor- und eine Hauptuntersuchung. Die SchülerInnen der Kurse, die mit den gegenständlichen Modellen unterrichtet wurden, erreichten einen um 34,5% höheren relativen Wissenszuwachs als die SchülerInnen, deren Unterricht ohne die Modelle ablief. Der Unterschied ist höchst signifikant. Die Versuchsgruppen zeigten in Abhängigkeit von der unterrichtlichen Behandlung keine signifikanten Unterschiede bei der Behaltensleistung und der Vergessensrate. In der Versuchsgruppe, in deren Unterricht die Modelle eingesetzt wurden, war der Anteil der Problemlöser um 39,5% höher als in der Vergleichsgruppe. Somit war ihre Problemlösungskompetenz größer als die der Vergleichsgruppe. Der Unterschied konnte auf dem 0,1%-Niveau statistisch abgesichert werden.

Abstract:
Four new concrete models of the electron transport of photosynthesis and cellular respiration developed for teaching biology have been tested and evaluated in an empirical research at school. One main aim of using the models was to discover whether lessons with the help of the models support pupils' cognitive performance more effectively than lessons without them. The pupils' cognitive performance was represented by increased knowledge and problem-solving competence. The research was designed as a field experiment which was conducted on a pre-test-post-test design and was split in a preliminary and a principal study. Pupils taught with the aid of the models showed a 34.5% increase in comparative knowledge over those taught without using them. This difference is highly significant. No major differences were shown in the pupils' ability to recall once-acquired knowledge whether or not the models were used. In the group in which lessons the models were used, the proportion of the problem-solving pupils' was 39.5% higher than in the comparison group. Therefore their problem-solving competence was higher than in the corresponding group. The difference could be statistically proved on the 0.1% level.

1. Einleitung

Der herausragenden Bedeutung des Photosynthesevorgangs angemessen, nehmen die Biologielehrpläne aller deutschen Bundesländer das Thema „Photosynthese" in den Katalog der schulisch relevanten Lerninhalte auf. Was wissen nun Schüler am Ende ihrer schulischen Ausbildung vom Photosynthesegeschehen? Hesse (1981) ging u. a. dieser Frage bei Studienanfängern der Biologie (Lehramt für die Primar- und Sekundarstufe I) in einer Untersuchung nach. Im Bereich chemisch-physikalischer Grundkenntnisse lautete eine Frage: „Wird in der Photosynthese das Kohlendioxid oxidiert oder reduziert?" (Hesse 1981, 269). Nur 30% der Probanden konnten die Frage richtig beantworten. Eschenhagen und Schilke (1973) stellten in einer ähnlich angelegten Untersuchung fest, daß auf die Frage „Wie lautet die Photosynthesegleichung?" nur 7% der Studienanfänger die richtige Summengleichung wußten (vgl. Eschenhagen/Schilke 1973, 255).

Insgesamt fehlt es in Biologieschulbüchern und anderen Publikationen nicht an Vorschlägen, das Photosynthesegeschehen den Schülern begreifbar zu machen. Meist gehen diese jedoch über die reinen Phänomene, wie die Beteiligung bzw. Demonstration von CO_2, H_2O, Licht, Chlorophyll, sowie die Entstehung von Kohlenhydraten und O_2, nicht hinaus. Da einige bedeutsame Vorgänge der Photosynthese, z. B. der Elektronentransport und die Photophosphorylierung, den Schülern nicht direkt veranschaulicht werden können, „[...] muß man auf mehr oder weniger abstrakte Schemata und Formeln zurückgreifen" (Brucker/Kalusche 1975, 234). Damit sind selbst viele Oberstufenschüler, vor allem diejenigen ohne vertiefte naturwissenschaftliche Grundkenntnisse, überfordert. Um diesem vorzubeugen, fordern Berks und Kremer (1979), die Stoffinhalte zur Behandlung der Photosynthese in der Oberstufe zu begrenzen, und schlagen vor, „[...] vielleicht am Beispiel eines Modells zu einer allgemeineren Qualifizierung des Phänomens Photosynthese zu gelangen, die im Hochschulunterricht in entsprechender Weise vertieft und ausgeweitet werden könnte" (Berks/Kremer 1979, 46).

Zur Veranschaulichung des Elektronentransports bei der Photosynthese und Biologischen Oxidation entwickelten einige Autoren Funktionsmodelle (vgl. Brucker/Kalusche 1975, Meurs 1983, Högermann 1992, Jaenicke 1992, Braun 1994, Neubauer 1996, Wendel 1996, Wendel 1998). Alle publizierten Modelle weisen jedoch Unzulänglichkeiten, z.B. Herauskatapultieren von Kugeln (Elektronen) aus Pigmentsystemmodellen, unzulässige Vermischung von energetischen und membrantopologischen Aspekten oder Fehlen des energetischen Bezuges.

Die Unkorrektheiten dieser modellhaften Darstellungen machten es erforderlich, vier neue Modelle zu entwickeln, die die wesentlichen, fachlichen Zusammenhänge der beiden Stoffwechselprozesse unter methodisch-didaktischen Gesichtspunkten vermitteln können.

Modelltheoretische Überlegungen

In der vorliegenden Untersuchung wird von folgendem **Modellbegriff** ausgegangen: Modelle bilden Originale vereinfacht ab; sie werden unter subjektiven Gesichtspunkten adressaten- und zielorientiert geschaffen und/oder eingesetzt.

Mit der „vereinfachten" Abbildung eines Originals durch sein Modell wird deutlich, daß im Modell nicht alle Eigenschaften des Originals repräsentiert werden können, sondern nur eine Auswahl, die vom Subjekt („unter subjektiven Aspekten") sachimmanent oder individuell festgelegt wird. Der Modellierer - das Subjekt - muß dabei diejenigen im Auge haben („adressaten"-orientiert), für die das Modell „geschaffen und/oder eingesetzt" werden soll; ebenso muß er das Ziel, das mit dem Modell erreicht werden soll, berücksichtigen („zielorientiert"). Dies gilt sowohl für die Modellbildung und den nachfolgenden Einsatz als auch für den Gebrauch bereits vorhandener Modelle.

Ziele der Untersuchung

(1) Im Rahmen einer empirischen Untersuchung in Biologieleistungskursen des Gymnasiums sollte in einem Feldexperiment geklärt werden, inwieweit das Verständnis für komplexe, stoffwechselphysiologische Zusammenhänge durch den Einsatz der neu entwickelten Stand- und Magnettafelmodelle bei Schülern gefördert wird. Diese der Modellevaluation dienende Überprüfung ging der Frage nach, welchen Wissenszuwachs (WZW) und welche Problemlösungskompetenz (PLK) Schüler erreichen, wenn sie mit den gegenständlichen Modellen unterrichtet wurden, im Vergleich zu Schülern, die ohne diese Modelle, aber mit anderen Medien, die gleichen Unterrichtsinhalte vermittelt bekamen.

Der Begriff des Wissenszuwachses bezieht sich auf die Zunahme von Fachwissen bei den Schülern durch die unterrichtliche Behandlung; die Problemlösungskompetenz kennzeichnet die Fähigkeit der Schüler, aufgrund der im Unterricht aufgezeigten, fachlichen

Zusammenhänge ein darauf aufbauendes fachliches Problem zu lösen.
(2) Bei der Beeinflussung des **Wissenszuwachses** durch den Einsatz gegenständlicher Modelle wird zusätzlich differenziert im Hinblick auf:

- **geschlechtsspezifische Unterschiede** der Schülerinnen und Schüler
- Einflüsse der **Ausbildungsrichtung** der Gymnasien (neusprachlich und mathematisch-naturwissenschaftlich) und der **Schulleistungen** der SchülerInnen im 11. und 12. Jahrgang

(3) Bei der **Problemlösungskompetenz** wird auch auf geschlechtsspezifische und leistungsbezogene Unterschiede sowie auf Einflüsse der Ausbildungsrichtungen des Gymnasiums eingegangen.

2. Material und Methode

2.1 Modelle

In den Unterrichtseinheiten, die der Untersuchung zugrunde lagen, kamen vier vom Verfasser neu entwickelte, gegenständliche Modelle des Energiestoffwechsels zum Einsatz. Es waren dies:

- **Standmodell „Photosynthese"** zur Veranschaulichung des energetischen Aspekts des nicht-zyklischen und zyklischen Elektronentransports bei den Primärreaktionen der Photosynthese (s. Abb. 1; vgl. Leibold 1990).
- **Magnettafelmodell „Photosynthese"** zur Veranschaulichung des topologischen Aspekts, des Aufbaus eines Protonengradienten und der Photophosphorylierung bei den Primärreaktionen der Photosynthese (s. Abb. 2).
- Standmodell **„Biologische Oxidation"** zur Veranschaulichung des energetischen Aspekts des Elektronentransports in der Atmungskette (s. Abb. 3).
- Magnettafelmodell **„Biologische Oxidation"** zur Veranschaulichung des topologischen Aspekts, des Aufbaus eines Protonengradienten und der Phosphorylierung in der Atmungskette (s. Abb. 4).

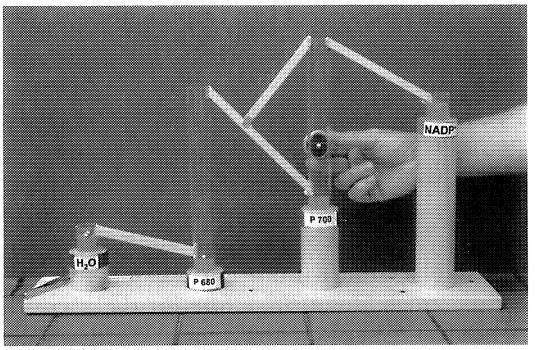

Abb. 1: Standmodell „Photosynthese"
H_2O: Wassermodell; P680 und P700: Modelle der Pigmentsysteme P680 und P700; $NADP^+$: Modell der oxidierten Form des Reduktionsäquivalents NADP.

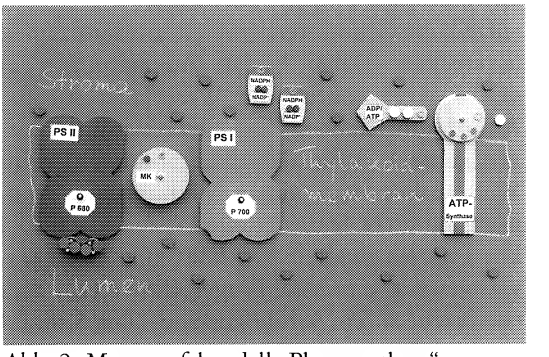

Abb. 2: Magnettafelmodell „Photosynthese"
PSI und PSII: Modelle der Photosysteme I und II mit den Pigmentsystemen P 680 und P 700; MK: Protonenpumpe des Membrankomplexes (Plastochinon, Cytochrom b6/f, Plastocyanin); NDAP+/NDAPH: Modell des Reduktionsäquivalents NADP; ADP/ATP: Modell des ADP/ATP-Systems; ATP-Synthase: Modell der ATP-Synthase.

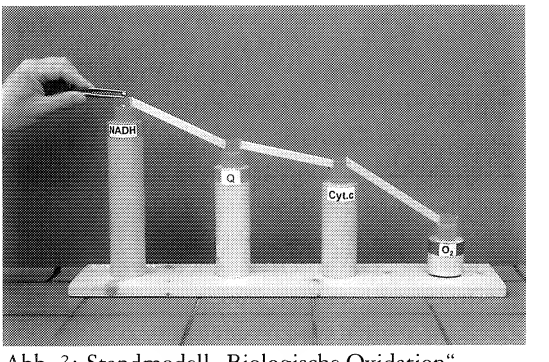

Abb. 3: Standmodell „Biologische Oxidation"
NADH: Modell der reduzierten Form des Reduktionsäquivalents NAD; Q: Modell des Ubichinons; Cyt.c: Modell des Cytochrom c; O_2: Modell des Sauerstoffs.

Bei den Standmodellen repräsentieren beschriftete und farbig gekennzeichnete Holzzylinder Redoxsysteme. Die Länge der Zylinder wird durch den Redoxpotentialwert des dargestellten Systems bestimmt; dabei gilt: je größer die Länge, desto negativer der Redoxpotentialwert und desto höher der Elektronendruck. Ein kurzer Kunststoffaufsatz auf den Holzzylindern mit farblosen Plexiglasröhren trägt Metallringe, die für die Elektronenlücken eines Systems stehen. Werden diese mit einer Stahlkugel (Elektron) belegt, so entspricht dies der Elektronenaufnahme oder Reduktion; durch das Wegnehmen der Metallkugel(n) läßt sich die Oxidation darstellen. Die einzelnen Holzzylinder lassen sich jeweils auf einem Grundbrett mit Aluminiumzapfen feststecken. Dabei bilden Aussparungen in den Plexiglasröhren die Widerlager für die Aluminiumschienen. Die Plexiglasröhren sorgen generell dafür, daß die Stahlkugeln beim Weiterrollen von einem Holzzylinder zum nächsten nicht herunterfallen.

Die Pigmentmodelle von P680 und P700 tragen jeweils eine Stahlkugel (Elektron), dies entspricht ihrem Grundzustand. Zur Simulation des angeregten Zustands wird eine Kugel mit Hilfe eines gelben Rundmagneten bis an den oberen Rand der Plexiglasröhren angehoben. Die mit der Hand bewegten Magnete entsprechen somit der Wirkung der Lichtenergie bei der Absorption durch die Photosynthesepigmente. Diese besteht in einer Erhöhung des Elektronendruckes im absobierenden Chlorophyllmolekül, das somit nachgeschaltete Redoxsysteme reduzieren kann.

Die Magnettafelmodelle (MTM) zum Elektronentransport bei der Photosynthese und der Biologischen Oxidation bestehen aus teilweise farbig lackierten und teilweise unbehandelten Sperrholzelementen; dazu kommen Rundmagnete mit blauer, roter und weißer Plastikummantelung. Die roten Magnete symbolisieren H^+-Ionen, die weißen Pi-Ionen und die etwas größeren blauen Sauerstoffatome. Auf die hölzernen Modellkomponenten sind rückseitig flache Magnete aufgeklebt, so daß sie auf magnetisierbaren Oberflächen (Tafeln, Stahlblechstreifen, Magnetpinnwänden) haften.

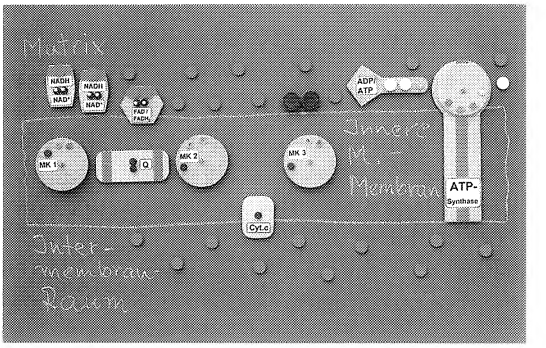

Abb. 4: Magnettafelmodell „Biologische Oxidation" MK1: Protonenpumpe des NADH-Q-Reduktase-Komplexes; MK2: Protonenpumpe des Cytochrom-Reduktase-Komplexes; MK3: Protonenpumpe des Cytochrom-Oxidase-Komplexes; NAD+/NADH: Modell des Reduktionsäquivalents NAD; FAD/FADH2: Modell des Reduktionsäquivalents FAD; Q: Modell des Ubichinon; Cyt.c: Modell des Cytochrom c; ADP/ATP: Modell des ADP/ATP-Systems; ATP-Synthase: Modell der ATP-Synthase.

Membrankomplexe, die mit ihren einzelnen Systemen wie elektronengetriebene Protonenpumpen wirken, werden durch drehbare Holzscheiben dargestellt. Auf ihnen sorgen Metallscheiben für das Haften der roten Rundmagnete (H^+-Ionen) und kleine Magnete für das Festhalten von silberfarbenen Metallrollen (Elektronen); sie ersetzen aus funktionellen Gründen (festere Magnethaftung wegen der flächigen Auflage und bessere Griffigkeit) die polierten Stahlkugeln der Standmodelle.

2.2 Untersuchungskonzeption

Die empirische Untersuchung der Effektivität der Modelle wurde als Feldexperiment durchgeführt, das im Gegensatz zum Laborexperiment die Schüler in ihrer normalen Unterrichtssituation beläßt, um „[...] in einer Art Bestandsaufnahme eines Ausschnittes der pädagogischen Realität [...]" (Staeck 1980, 124) Kausalzusammenhänge zu erforschen. Die Schüler verblieben während der Felduntersuchung in ihren Kursen und wurden vom eigenen Kursleiter unterrichtet.

Das Feldexperiment gliederte sich in **Vor- und Hauptuntersuchung**, bei denen folgende Ziele im Vordergrund standen:

Voruntersuchung: Evaluation der Organisationsstruktur des Feldexperiments, Bewertung des Ablaufs und des Zeitbedarfs des Unterrichts sowie der Unterrichts- und Testmaterialien.

Hauptuntersuchung: Überprüfung der Frage, ob gegenständliche Modelle den Wissenszuwachs und die Problemlösungskompetenz von Schülern verändern.

Der Versuchsplan (das Design) war **univariat**, weil nur e i n Faktor - Unterricht mit oder ohne die gegenständlichen Modelle - variiert wurde. Die gleichen Unterrichtsinhalte zum Thema Elektronentransport wurden zwei Versuchsgruppen auf unterschiedliche Weise vermittelt:

1. Versuchsgruppe (Versuchsgruppe M): Unterricht mit den gegenständlichen Modellen, OH-Folien und Tafelanschrieb (**Treatment M**).

2. Versuchsgruppe (Versuchsgruppe O): Unterricht ohne die gegenständlichen Modelle, aber mit OH-Folien und Tafelanschrieb (**Treatment O**).

Für die Treatments M und O wurden Unterrichtseinheiten mit den dazugehörigen Lernzielen und Medien entworfen und den am Feldexperiment teilnehmenden Kursleitern verbindlich vorgeschrieben. Die behandelten Lerninhalte - insbesondere der Elektronentransport bei der Photosynthese und Biologischen Oxidation - mußten sich an den Vorgaben des Bayerischen Lehrplans (1991) für den Leistungskurs Biologie orientieren, weil die Untersuchung an bayerischen Gymnasien durchgeführt wurde. Die Unterrichtszeit betrug für beide Treatments je 5 Unterrichtsstunden.

Insgesamt achtete der Versuchsleiter auf die inhaltliche Gleichwertigkeit der Treatments M und O. Dies galt auch für die Unterrichts- und Sozialformen in beiden unterrichtlichen Behandlungen. Die Kursleiter vermittelten die Lerninhalte im Frontalunterricht; problemorientiert sollte dabei die fragend-entwickelnde Form des Lehrens, von Killermann (1995, 240) auch „Impulsunterricht" genannt, praktiziert werden. Dabei kamen die Modelle als Erkundungs- und Erklärungsmodelle zum Einsatz.

Da die Gesamtstichprobe der Versuchsteilnehmer in zwei Hälften aufgeteilt wurde, verlief die Untersuchung nach einem **Zweistichprobenplan**.

Vor- und Hauptuntersuchung wurden jeweils mit einem **Vortest** (VT) eingeleitet; diesem schloß sich die unterrichtliche Behandlung an. Den Abschluß bildete der **Nachtest** (NT). Somit lief das Vorhaben nach einem **Vortest-Nachtest-Plan** ab (vgl. Rollett 1974). Dieser mußte jedoch modifiziert werden, weil sich der Unterricht über den Elektronentransport in zwei zeitlich getrennte Abschnitte untergliederte (1. Abschnitt: Elektronentransport bei der Photosynthese; 2. Abschnitt: Elektronentransport bei der Biologischen Oxidation) und jede dieser Einheiten mit einem Nachtest abgeschlossen wurde. Der Nachtest (NT) setzte sich somit aus dem Nachtest Photosynthese (NT PS) und dem Nachtest Biologische Oxidation/Atmung (NT A) zusammen.

Zusätzlich wurde in den Unterricht zum photosynthetischen Elektronentransport ein **Zwischentest** (ZT) eingeschoben.

In der Hauptuntersuchung sollte in zeitlichem Abstand (4 - 8 Wochen) zum Nachtest Biologische Oxidation (NT A) nochmals der gesamte Nachtest (NT PS/A) von den Schülern bearbeitet werden. Dies erforderte eine differenzierte Benennung der Nachtests. So wurden der erste Nachtest (NT PS und NT A) zum Nachtest I (NT I) und der zweite Nachtest (NT PS/A) zum Nachtest II (NT II). Abbildung 5 stellt den Plan der Hauptuntersuchung zusammenfassend dar.

Mit den verschiedenen Tests sollten bestimmte Merkmale der Probanden festgestellt werden:

Vortest: Wissen der Schüler über den Elektronentransport vor der unterrichtlichen Behandlung (Vorwissen, „Nullinie").

Zwischentest: Fähigkeit der Schüler zur Problemlösung während des Unterrichts über den photosynthetischen Elektronentransport (Problemlösungskompetenz).

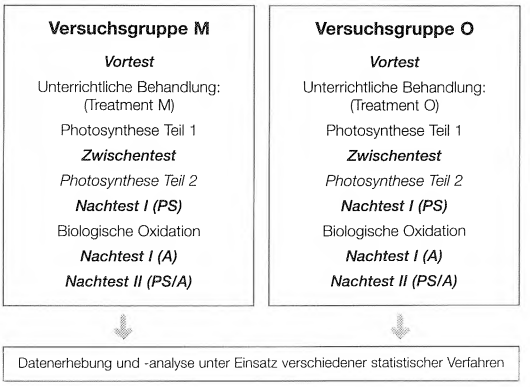

Abb. 5: Plan der Hauptuntersuchung (Abkürzungen vgl. Text).

Nachtest I: Wissen der Schüler über den Elektronentransport unmittelbar nach der unterrichtlichen Behandlung; zusammen mit dem Vorwissen Grundlage zur Berechnung des Wissenszuwachses.

Nachtest II: Wissen der Schüler über den Elektronentransport im längeren zeitlichen Abstand nach der unterrichtlichen Behandlung; Grundlage zum Feststellen der Behaltensleistung.

Indikator für das Wissen und die Fähigkeit zur Problemlösung bei den Schülern waren die Rohpunkte von VT, NT I und NT II sowie drei Bewertungsstufen des Zwischentests. Diese quantifizierbaren Daten wurden verschiedenen, statistischen Prüfverfahren unterzogen.

2.3 Untersuchungspopulation

Biologieleistungskursteilnehmer ober- und unterfränkischer Gymnasien bildeten die Untersuchungspopulation des vom Bayerischen Kultusministerium genehmigten Feldexperiments. Ihre Teilnahme wurde durch den jeweiligen Kursleiter bestimmt; ein Votum der Schüler wurde nicht eingeholt. Ein Teil der Kursleiter konnte während zweier Fortbildungsveranstaltungen, in denen der Versuchsleiter die Modelle vorstellte, für die Teilnahme an der Untersuchung gewonnen werden. Um weitere Kursleiter für das Feldexperiment zu finden, wurden die Biologiefachbetreuer von 50 ober- und unterfränkischen Gymnasien angeschrieben und um Unterstützung gebeten. Durch deren Vermittlung stellten sich die restlichen Kursleiter mit ihren Kursen für die Untersuchung zur Verfügung.

Bei der Auswertung des Feldexperiments wurden nicht die Leistungen der einzelnen Biologiekurse der Versuchsgruppen miteinander verglichen, sondern die Leistungen aller Schüler der Versuchsgruppe M wurden mit denen der Versuchsgruppe O verglichen. Somit stellte nicht ein Kurs, sondern der einzelne Schüler die „Versuchseinheit" dar; darunter versteht man nach Rollett (1974, 76) „[...] die kleinste Einheit, die in den Versuch eingeht [...]".

An der **Voruntersuchung** nahmen 100 Schüler aus 5 ober- und 3 unterfränkischen Gymnasien teil. Sie besuchten alle Biologieleistungskurse im 12. Jahrgang. 49 Probanden (4 Kurse) wurden mit den Modellen unterrichtet, 51 Versuchsteilnehmer (4 Kurse) bekamen die Lerninhalte ohne den Einsatz der Modelle vermittelt.

Die **Hauptuntersuchung** begann mit einer Gesamtstichprobe von 335 Schülern aus Biologieleistungskursen des 12. Jahrgangs, die in 24 Kursen unterrichtet wurden. 12 Leistungskurse stammten aus oberfränkischen und 12 aus unterfränkischen Gymnasien. Diese wurden jeweils der Versuchsgruppe M oder O zugeteilt. Die Zuweisung der Kurse zu den Treatments M oder O hing von der Ausstattung der Schulen mit Wandtafeln ab, an denen Magnete haften konnten. Waren Tafeln mit Magnethaftung vorhanden, so wurden die Kurse der Versuchsgruppe M zugeordnet. Wenn diese Voraussetzungen nicht gegeben waren, wurden die Schüler der Versuchsgruppe O zugewiesen.

In Gruppe M befanden sich damit 176 und in Gruppe O 159 Schüler. Der kleinste Kurs aus Gruppe M hatte 7 Teilnehmer, der größte 25; bei Gruppe O ging die Spannbreite von 8 bis 20 Teilnehmern.

Aus der Gesamtstichprobe der 335 Schüler konnten nur die Daten von 254 Probanden in die Auswertung eingehen, weil nur diese Anzahl sowohl den Vortest, als auch den Nachtest I (PS) und den Nachtest I (A) absolviert hatte. Der „Probandenschwund" (Schneider/ Walter 1992, 197) betrug somit

81 Schüler oder 24,2 %. Dabei waren es in der Versuchsgruppe M 39 Probanden (22,2 %), 42 fehlten in der Gruppe O, was 26,4 % entspricht.
Aus der neuen Gesamtstichprobe von 254 Probanden konnten die Zwischentestergebnisse (Bestimmung der Problemlösungskompetenz) von 202 Schülern verwertet werden; das sind 79,5 % der Gesamtstichprobe. Am zweiten Nachtest (NT II) nahmen lediglich noch 104 Probanden der Gesamtstichprobe teil; das entspricht einem Anteil von 40,9 % der Probandenzahl von 254.
Es wurde statistisch abgesichert, daß die Versuchsgruppen M und O hinsichtlich der Geschlechterverteilung, der Zugehörigkeit zu einer Ausbildungsrichtung und der schulischen Leistungen in der 11. Jahrgangsstufe und im 1. Kurshalbjahr des Biologieleistungskurses vergleichbar waren.

2.4 Datenerfassung und -auswertung

Als **Meßinstrument** zur Ermittlung der kognitiven Leistungen wurden schriftliche Tests eingesetzt. Zum Feststellen des **Wissenszuwachses** der beiden Versuchsgruppen wurde ein „informeller Test" (vgl. Gaude/Teschner 1970, 48; Zöller 1971, 11; Ingenkamp 1985, 130f.) erstellt, weil ein standardisierter Test für die konkrete Fragestellung nicht zur Verfügung stand.
Der vorliegende, vom Versuchsleiter entwickelte, informelle Test wurde der gesamten Stichprobe dreimal zur Bearbeitung vorgelegt, einmal als Vortest (VT), um das Vorwissen zu eruieren, dann als Nachtest I (NT I) zum Prüfen des Wissens nach Ablauf des Unterrichts. Der zweite Nachtest (NT II), der die Behaltensleistung untersuchte, wurde einer Teilstichprobe mindestens 4 Wochen nach dem NT I zur Bearbeitung vorgelegt. VT, NT I und NT II sind bis auf einen kurzen Einführungstext identisch.
Zum Beurteilen der **Problemlösefähigkeit** beantworteten die Schüler eine umfangreiche Aufgabe in freier Form, die als Zwischentest (ZT) in den Unterrichtsablauf eingebaut wurde.
Als Grundlage für die Entwicklung der **Testaufgaben** dienten die kognitiven Lernziele der Unterrichtseinheiten. Die so entworfenen Items wurden in der Voruntersuchung evaluiert, d. h. auf inhaltlichen Bezug zum Unterricht, auf Klarheit, Eindeutigkeit und Schülergemäßheit der Formulierungen und auf den Zeitbedarf bei der Bearbeitung überprüft.

2.5 Charakteristik der Items

Im folgenden werden die Tests in der Form charakterisiert, in der sie als Erhebungsin-strumente der Hauptuntersuchung fungierten:
Der **informelle Test** umfaßte 20 Aufgaben (Items), von denen zwei dem Aufgabentyp „freie Antworten", der Rest dem mit gebundenen Antworten zuzurechnen waren; davon wiederum gehörten 3 Items zu den Zuordnungsaufgaben und die anderen zu den Mehrfach-Wahl-Aufgaben. Zur Bearbeitung des informellen Tests waren 15 Minuten vorgesehen.
Die weitere Itemanalyse wird nach einem Vorschlag von Becker et al. (1980, 196f.) durchgeführt; sie beinhaltet:

a) die **Distraktorenprüfung** (Feststellen der Häufigkeit von Falschantworten),
b) die Bestimmung des **Schwierigkeitsgrades** (Aussonderung von zu leichten und zu schweren Aufgaben),
c) die Ermittlung der **Trennschärfe** (Unterscheidung von guten und schlechten Schülern).

Informelle Tests haben zudem nach der Testtheorie folgende Gütekriterien zu erfüllen (vgl. Ingenkamp 1985, 34):

- **Objektivität** (gleiche Bedingungen bei der Durchführung und Bewertung der Tests).
- **Reliabilität** (Zuverlässigkeit des Tests für objektive Leistungserhebung).
- **Validität** (Festlegen der zu testenden Meßgröße).

Die Items des **informellen Tests (VT, NT I, NT II)** wurden bei richtiger Beantwortung mit einem Punkt bewertet. Somit ergab sich bei 20 Testfragen ein maximaler Wert von 20. Die Bewertung der Testbogen führten nicht die Kursleiter durch, sie wurde vielmehr zentral vom Versuchsleiter vorgenommen.

Die Bearbeitungszeiten der Tests lag zwischen 5 und 15 Minuten:
VT: 15 Min.; NT I (PS): 10 Min.; NT I (A): 5 Min.; NT II: 15 Min.; ZT: 5 Min..
Beim **Zwischentest** erfolgte die Beurteilung der Leistungen durch den Versuchsleiter nach einem dreistufigen Wertesystem:

+ : Aufgabe gut gelöst;
o : Aufgabe befriedigend gelöst;
- : Aufgabe nicht gelöst.

Den Probanden stand es im Zwischentest frei, in Form einer Graphik oder eines Textes zu antworten, deshalb wurde eine Wertung mit Prädikaten einer Bepunktung vorgezogen. Die Bearbeitungszeit betrug 5 Minuten.
Die personenbezogenen Daten der Probanden und deren Antworten auf die Testitems wurden in Form von Zahlenkombinationen codiert und über die Tastatur in den MS-DOS-Editor eines Personal Computers eingegeben. Die so codierten und in eine Eingabematrix geschriebenen Rohdaten wurden am Lehrstuhl Didaktik der Biologie der Universität Bayreuth weiter bearbeitet.
Auf dem MS-DOS-Editor eigens geschriebene Befehlsprogramme errechneten Häufigkeiten und Mittelwerte verschiedener Testparameter. So wurde der **Wissenszuwachs** (WZW) aus den Rohdaten bestimmt als:

Differenzmaß: (DIFF) $\text{Punkte}_{NT\,I} - \text{Punkte}_{VT}$; (1)
und
rel. Wissenszuwachs: (r.WZW) $\frac{\text{Punkte}_{NT\,I} - \text{Punkte}_{VT}}{\text{Punkte}_{VT}}$; (2)

Löwe (1980, 52) und Füller (1992, 121) geben den Wissenszuwachs ebenfalls als Differenzmaß (Punkte Nachtest - Punkte Vortest) an und nennen ihn Lernfortschritt (1), der relative Wissenszuwachs heißt bei den o. g. Autoren relativer Lernfortschritt oder relativer Lernzuwachs; sie berechnen ihn ebenfalls nach der Formel (2).
Aus den Punkten des zweiten Nachtests (NT II) und den Punkten des Vortests wurden das Differenzmaß (DIFF II) analog der Formel (1) bestimmt, um damit etwas über die **Behaltensleistung** aussagen zu können. Bildet man die Differenz aus den Punkten von NT I und NT II läßt sich das Ausmaß des Vergessens des gespeicherten Wissens abschätzen.

Bei der Auswertung des Zwischentests wurden die Häufigkeiten der Kategorien „gut gelöst", „befriedigend gelöst" und „nicht gelöst" zur Beurteilung der **Problemlösungskompetenz** (PLK) angegeben.
Das Programmsystem SPSS/PC+, Version 3.1, diente der statistischen Überprüfung von verschiedenen Kennwerten auf Signifikanz. Es kamen folgende statistische Prüfverfahren zur Anwendung:
MANN-WHITNEY-U-Test,
ONEWAY, ANOVA, Chi-Quadrat-Test und
KOLMOGOROV-SMIRNOV-Test.

3. Ergebnisse

3.1 Einfluß der Treatments auf den Wissenszuwachs

Die Versuchsgruppe M erreichte im Vortest einen Punkte-Mittelwert von 1,23; sie liegt damit um 0,62 unter dem der Vergleichsgruppe O; d.h. die Schüler, die ohne die Modelle unterrichtet wurden, erbrachten zufällig signifikant bessere Ausgangsleistungen als die Vergleichsgruppe M ($p < 0{,}01$; MWU-Test; zweiseitig). Beim Mittelwertvergleich der Punkte im Nachtest liegt die Versuchsgruppe M mit einer Punktedifferenz von 1,20 zum Mittelwert der Versuchsgruppe O an der Spitze. Auch dieser Unterschied ist signifikant ($p < 0{,}05$; MWU-Test; zweiseitig). Die Mittelwerte und weitere Daten zum Vor- und Nachtest I werden in Tabelle 1 aufgeführt (vgl. auch Abb. 6).
Das Wissen beim Nachtest I ist bei beiden Treatments deutlich angestiegen; auf die Mittelwerte der Punkte der Versuchsgruppe M bezogen ist ein Unterschied vom Vor- zum Nachtest I von 9,51 Punkten festzustellen, bei der Versuchsgruppe O beträgt er 7,69 Punkte. Die Abbildungen 7 und 8 zeigen die Entwicklung dieses Anstiegs. Es sind dreidimensionale Plots, die den prozentualen Anteil der Probanden angeben, die ausgehend von einem bestimmten Vortestwert einen bestimmten Nachtestwert erreichten. Auch hier fällt wieder die größere Homogenität der Versuchsgruppe M im Vergleich zur Gruppe O auf. Während

	N	$\overline{X}_{VT}$	σ	Min	Max	$\overline{X}_{NT\,I}$	σ	Min	Max
Gesamtstichprobe	254	1,52	1,42	0,00	10,00	10,19	3,69	1,00	18,00
Versuchsgruppe M	137	1,23	1,12	0,00	7,00	10,74	3,14	5,00	18,00
Versuchsgruppe O	117	1,85	1,65	0,00	10,00	9,54	4,16	1,00	18,00

N: Anzahl; $\overline{X}_{VT}$: Mittelwert der Punkte des Vortests; $\overline{X}_{NT\,I}$: Mittelwert der Punkte des Nachtests I; σ: Standardabweichung; Min: Minimum; Max: Maximum.

Tab. 1: Zusammenstellung der Mittelwerte der Punkte und weiterer Größen des Vor- und Nachtests I bezogen auf die Gesamtstichprobe und die Versuchsgruppen M und O.

die Gruppe mit den Modellen einen geschlossenen Block im Bereich der Punkte $_{VT}$ von 0 - 2 und der Punkte $_{NT\,I}$ von 5 - 17 bildet und damit 81,8 % ihrer Mitglieder repräsentiert, liegt ein zusammenhängender Block bei der Gruppe ohne die Modelle im Bereich der Punkte $_{VT}$ von 0 - 2 und der Punkte $_{NT\,I}$ von 8 - 14 vor, was einem Anteil von 42,9 % der Gruppenmitglieder entspricht.

Wird der Wissenszuwachs der Versuchsgruppen als Mittelwert des Differenzmaßes ($\overline{X}_{DIFF}$) und des relativen Wissenszuwachses ($\overline{X}_{r.WZW}$) angegeben (Tab. 2), so weist demzufolge die Gruppe M bei beiden Werten einen deutlichen Vorsprung vor der Gruppe O auf.

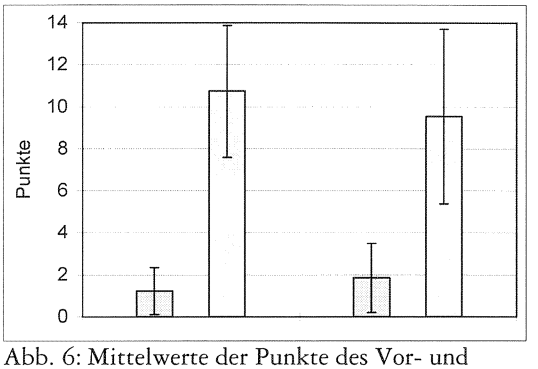

Abb. 6: Mittelwerte der Punkte des Vor- und Nachtests I (mit Standardabweichung) von Versuchsgruppe M (N = 137) und Versuchsgruppe O (N = 117). VT: Vortest, NT I: Nachtest I.

Er beträgt beim Differenzmaß 1,82 und beim relativen Wissenszuwachs 2,04 Punkte; d. h. bei der Versuchsgruppe M liegt das Differenzmaß um 23,7 % über dem der Vergleichsgruppe, der relative Wissenszuwachs ist um 34,5 % größer als der der Gruppe O. Abbildung 9 stellt die Mittelwerte des Differenzmaßes und des relativen Wissenszuwachses beider Versuchsgruppen graphisch dar.

3.2. Einfluß der Treatments auf den Wissenszuwachs von Teilstichproben

Differenziert man die Gesamtstichprobe nach den unabhängigen Variablen „Geschlecht", „Ausbildungsrichtung" und „Schulleistungen" und betrachtet die Wissenszuwächse der Teilstichproben unter dem Einfluß des Unterrichts mit und ohne die Modelle (zentrale unabhängige Variable), kommt man zu folgenden Resultaten:

(1) Geschlechtsspezifität:

Bei den Schülerinnen wird durch den Unterricht mit den Modellen ein größerer Wissenszuwachs als ohne die Modelle erreicht; der Unterschied ist höchst signifikant. Bei den Schülern ist der Unterschied im Wissenszuwachs zwischen Gruppe M und O von 1,7 Punkten statistisch nicht abgesichert; d. h. der Unterricht mit den Modellen bewirkt bei ihnen keinen signifikant größeren Wissenszuwachs als der Unterricht ohne die Modelle.

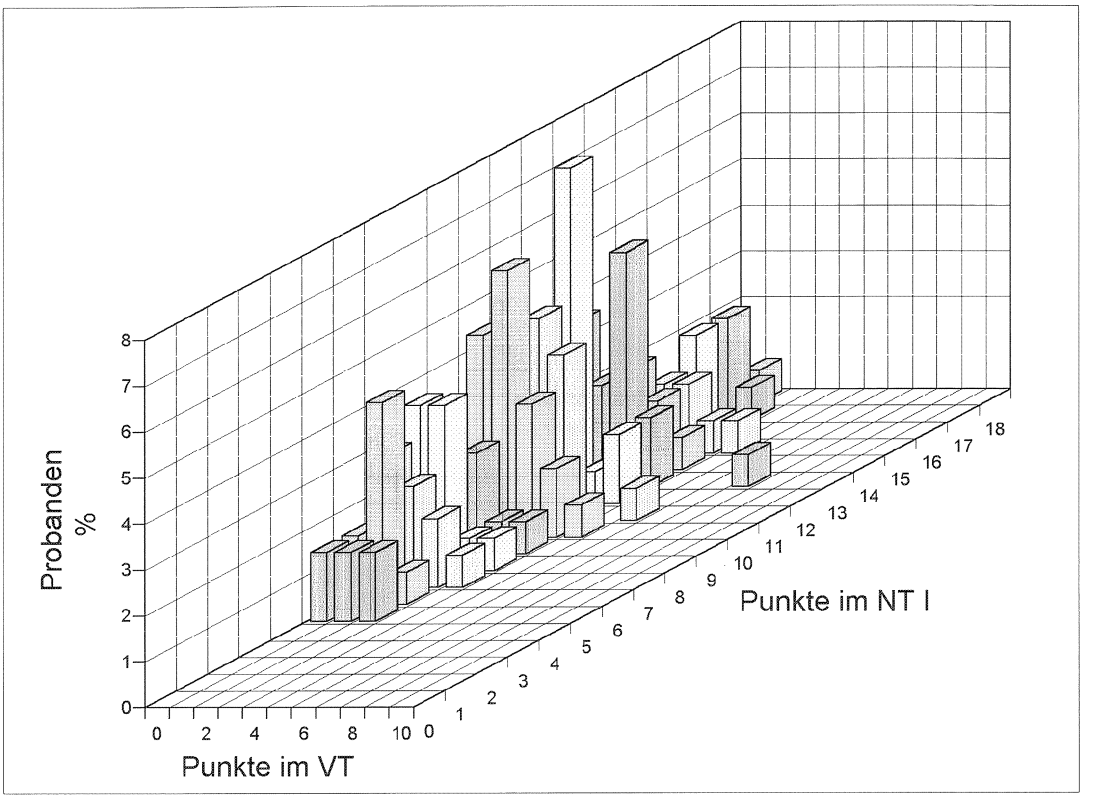

Abb. 7: Entwicklung der Punkte vom Vortest (VT) zum Nachtest I (NT I) bei den Probanden der Versuchsgruppe M (N = 137).

(2) Ausbildungsrichtung:
Werden Probanden aus dem neusprachlichen Gymnasium mit dem Treatment M unterrichtlich behandelt, so fällt der Wissenszuwachs höher aus als bei Treatment O; der Unterschied ist statistisch auf dem 1%-Niveau abgesichert. Bei Schülern mit mathematisch-naturwissenschaftlicher Ausbildung

	N	$\overline{X}_{DIFF}$	σ	Min	Max	$\overline{X}_{r.WZW}$	σ	Min	Max
Gesamtstichprobe	254	8,67	4,01	- 3,00	18,00	7,01	4,42	- 0,66	18,00
Versuchsgruppe M	137	9,51	3,18	3,00	17,00	7,95	4,02	0,85	17,00
Versuchsgruppe O	117	7,69	4,63	- 3,00	18,00	5,91	4,62	- 0,66	18,00

$\overline{X}_{DIFF}$: Mittelwert der Punkte des Differenzmaßes; $\overline{X}_{r.WZW}$: Mittelwert der Punkte des relativen Wissenszuwachses; weitere Erläuterung s. Tab. 1

Tab. 2: Zusammenstellung der Mittelwerte und weiterer Größen des Differenzmaßes (DIFF) und des relativen Wissenszuwachses (r.WZW) bezogen auf die Gesamtstichprobe und die Versuchsgruppen M und O.

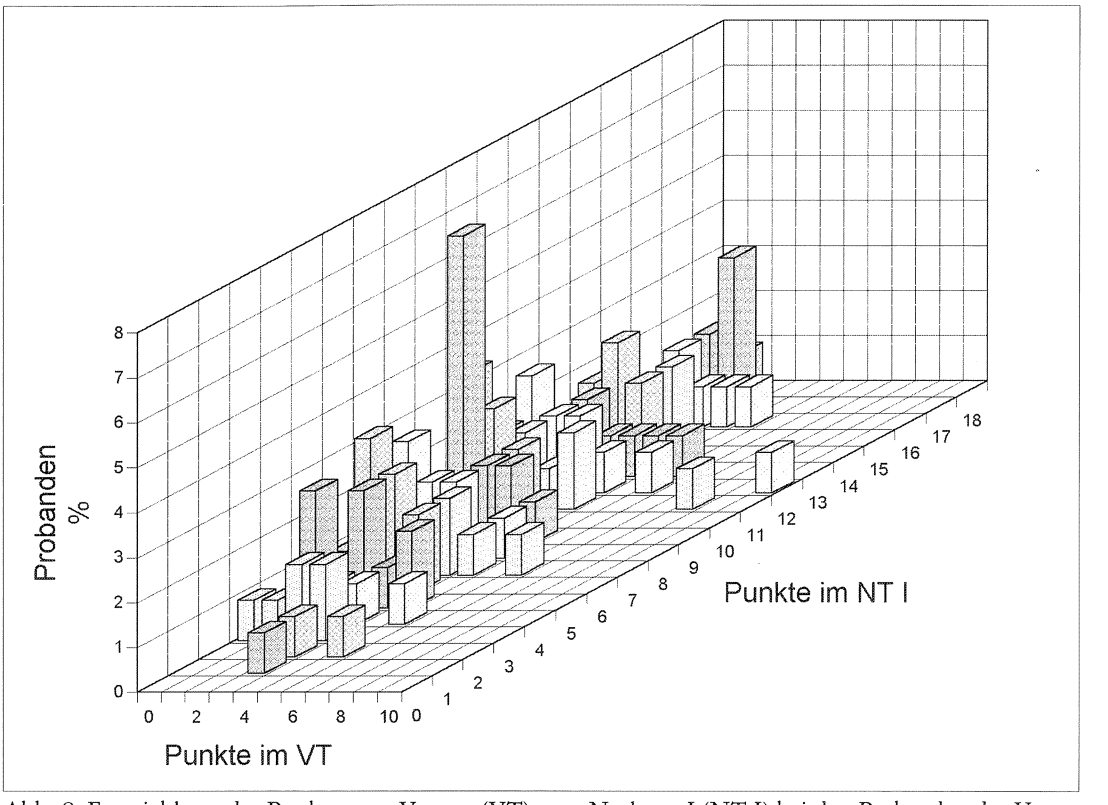

Abb. 8: Entwicklung der Punkte vom Vortest (VT) zum Nachtest I (NT I) bei den Probanden der Versuchsgruppe O (N = 117).

verhält es sich ähnlich. Auch hier treten sehr signifikante Unterschiede auf.

(3) Schulleistungen im Biologieleistungskurs (12. Jg.):

Schüler, die im 1. Halbjahr des Biologieleistungskurses zur unteren, also leistungsmäßig schlechteren, Gruppe zählten, können mit Modelleinsatz zwar keinen signifikant höheren Wissenszuwachs als ohne Modelleinsatz erreichen, haben aber einen absoluten Unterschied von +2,04 Punkten. Bei Schülern der oberen Leistungsgruppe beträgt der Unterschied beim Wissenszuwachs zwischen Versuchsgruppe M und O 2,1 Punkte; er ist somit höchst signifikant. Es zeigte sich also, daß das Treatment mit den Modellen sowohl bei den leistungsfähigeren, als auch bei leistungsschwächeren Kursteilnehmern einen höheren Wissenszuwachs als das Treatment ohne die Modelle bewirkt; bei letzteren läßt sich dies jedoch nicht statistisch signifikant absichern.

(4) Schulleistungen im 11. Jahrgang:

Schüler, die den 11. Jahrgang mit weniger gutem Erfolg absolvierten, profitierten hinsichtlich des Wissenszuwachses von Treatment M mehr als von Treatment O; die resul-

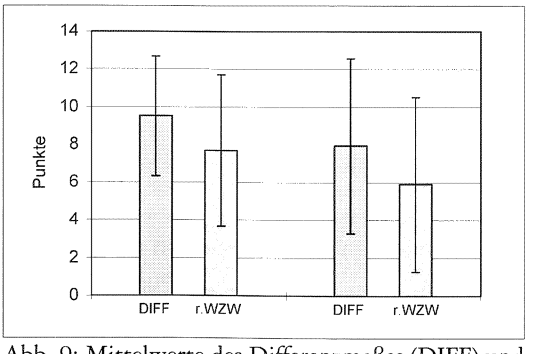

Abb. 9: Mittelwerte des Differenzmaßes (DIFF) und des relativen Wissenszuwachses (r.WZW) von Versuchsgruppe M (N = 137) und Versuchsgruppe O (N = 117), jeweils mit Standardabweichung

tierenden, unterschiedlichen Ergebnisse des Wissenszuwachses sind statistisch als sehr signifikant zu bewerten. Gleichartig liegen die Verhältnisse bei Schülern der oberen Leistungsgruppe; der Unterschied im Wissenszuwachs von 1,79 Punkten ist auf dem 5 % - Niveau statistisch gesichert.

3.3 Ergebnisse des zweiten Nachtests (NT II)

Die Mittelwerte der Punktezahl des zweiten Nachtests (NT II), dem sich 104 Probanden aus der Gesamtstichprobe (N = 254) unterzogen, sind zusammen mit den Werten des Vortests und des Nachtests I sowie von abgeleiteten Größen und den Irrtumswahrscheinlichkeiten der Gruppenunterschiede (MWU-Test, zweiseitig) in Tabelle 3 aufgeführt. Bei den Nachtests I und II erreichte die Versuchsgruppe M jeweils höhere Punktewerte als die Versuchsgruppe O. Die Differenzen der Nachtestmittelwerte beider Gruppen - bei NT I 0,75 und bei NT II 0,14 Punktewerte jeweils zugunsten der Gruppe M - sind statistisch jedoch nicht absicherbar.

Bei den Mittelwerten aus der Punktedifferenz von NT I - NT II liegt die Versuchsgruppe O um 0,6 Punkte unter dem Wert der Gruppe M. Nach der statistischen Auswertung ($p > 0,05$, MWU, zweiseitig) erweist sich dieser Unterschied als nicht signifikant.

3.4 Einfluß der Treatments auf die Problemlösungskompetenz

Die Teilstichprobe, deren Zwischentestergebnisse ausgewertet wurden, umfaßt 202 Probanden, davon gehören 117 der Versuchsgruppe M und 85 der Versuchsgruppe O an. Von 10 Schülern wurde die Aufgabe des Zwischentests gut gelöst, 79 erreichten ein befriedigendes Ergebnis, bei 113 mußte die Aufgabe als nicht gelöst eingestuft werden. Die Verteilung der Probanden auf die drei Leistungskategorien „gut gelöst", „befriedigend gelöst" und „nicht gelöst" gibt Abbildung 10 wieder.

Die statistische Überprüfung des Zwischentestergebnisses ($p < 0,001$, x^2-Test) ergab, daß die beiden Versuchsgruppen nicht der gleichen Grundgesamtheit angehören; d. h. das

	N	$\overline{X}_{VT}$	$\overline{X}_{NT\,I}$	$\overline{X}_{NT\,II}$	$\overline{X}_{DIFF\,II}$	$\overline{X}_{NT\,I\,-\,NT\,II}$
Teilstichprobe	104	1,73	11,42	9,69	7,96	1,73
Versuchsgruppe M	51	1,29	11,80	9,76	8,47	2,03
Versuchsgruppe O	53	2,15	11,05	9,62	7,47	1,43
Irrtumswahrscheinlichkeit p[1)]		0,0032 **	0,3144 ns	0,8194 ns	0,3473 ns	0,4509 ns

N: Probandenzahl; $\overline{X}_{VT}$: Mittelwert der Punkte des Vortests; $\overline{X}_{NTI}$: Mittelwert der Punkte des ersten Nachtests; $\overline{X}_{NTII}$: Mittelwert der Punkte des zweiten Nachtests; $\overline{X}_{DIFF\,II}$: Mittelwert der Punkte des zweiten Differenzmaßes; $\overline{X}_{NT\,I\,-\,NT\,II}$: Mittelwert der Punktedifferenz aus NT I - NT II

[1)] Die Werte der Irrtumswahrscheinlichkeiten beziehen sich auf die Mittelwertunterschiede beider Versuchsgruppen.

Tab. 3: Zusammenstellung der Mittelwerte verschiedener Größen der Teilstichprobe/Versuchsgruppen und Angabe der Irrtumswahrscheinlichkeiten (MWU-Test, zweiseitig).

Resultat der Versuchsgruppe M beim Zwischentest unterscheidet sich von dem der Versuchsgruppe O höchst signifikant.
Die Versuchsgruppe M hatte einen höheren Anteil an Probanden (71 von 117), die die Aufgabe des Zwischentests gut bzw. befriedigend lösten, als die Versuchsgruppe O; hier waren es 18 von 85. Somit besitzt Gruppe M die weitaus höhere Problemlösungskompetenz.
Faßt man die Probanden der Leistungskategorien 1 und 2 zusammen – das sind die Kursteilnehmer, die die Aufgabe des Zwischentests gut oder befriedigend gelöst haben (≙Problemlöser) - und vergleicht sie mit den Probanden der Leistungskategorie 3 (≙Nicht-Problemlöser), so ergibt sich folgendes Bild:
In der Versuchsgruppe M (N = 117) haben 71 Probanden die gestellte Aufgabe des Zwischentests gelöst; das entspricht 60,7 % dieser Versuchsgruppe. 18 Kursteilnehmer der Versuchsgruppe O (N = 85) waren ebenfalls dazu in der Lage; das sind 21,2 % der Versuchsgruppe O. Somit liegt der Prozentsatz der Problemlöser bei der Versuchsgruppe M fast dreimal so hoch wie bei der Versuchsgruppe O. Auf die Gesamtzahl der Teilnehmer am Zwischentest (N = 202) bezogen, haben 44,1 % oder 89 Schüler die Aufgabe gut oder befriedigend gelöst.
Zwischen den Versuchsgruppen M und O waren auch Unterschiede bei der Problemlösungskompetenz hinsichtlich des Geschlechts, der Schulleistungen und der Ausbildungsrichtungen zu beobachten; sie sind statistisch jedoch nicht absicherbar.

4. Diskussion

4.1 Diskussion der Ergebnisse des Wissenszuwachses

Differenzmaß und relativer Wissenszuwachs

Beim Differenzmaß und relativen Wissenszuwachs erreichte die Versuchsgruppe, die mit den gegenständlichen Modellen unterrichtet wurde, signifikant bessere Ergebnisse als die Gruppe, deren Unterricht ohne die gegenständlichen Modelle ablief.

Stöhr gelangte in seiner 1981 durchgeführten Feldstudie an Hauptschülern der 8. Jahrgangsstufe (N = 286) zu vergleichbaren Resultaten. Die Versuchsgruppe, die mit Modellen zum Thema „Beutefangverhalten der Erdkröte" unterrichtet wurde, erzielte einen signifikant höheren Lernzuwachs (Differenzmaß oder Wissenszuwachs) als die Vergleichsgruppe ohne die Modelle. Der Lernzuwachs der „Modell"-Gruppe war um 99,3 % größer als der der Vergleichsgruppe (vgl. Stöhr 1981, 81-82).
Martens (1986) untersuchte in einem Feldexperiment die Lernwirksamkeit von Computersimulationen und dreidimensionalen Modellen kombiniert mit Folien bei Schülern (N = 50) von Biologiegrund- und Biologieleistungskursen des 12. Jahrgangs. Bei molekulargenetischen Unterrichtsinhalten zeigte sich das Treatment mit der Computersimulation signifikant lernwirksamer als das mit dem kombinierten Modell- und Folieneinsatz. Die Lernwirksamkeit wurde durch Tests unmittelbar nach der Unterrichtssequenz überprüft. Der Autor zog aus seinen Untersuchungsergebnissen den Schluß, „[...] daß Computersimulationen grundsätzlich komplexe Vorgänge besser veranschaulichen als andere Medien (Modelle, Folien)" (Martens 1986, 306).
Um die Art der Veranschaulichung ging es auch beim Laborexperiment von Düker und Tausch (1957). Sie fanden heraus, daß ein „Modell" (≙hier Stopfpräparat) als Anschau-

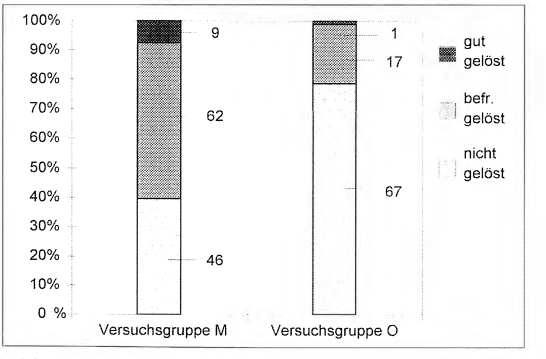

Abb. 10: Prozentualer und absoluter Anteil der Probanden der Versuchsgruppen M (N = 117) und O (N = 85) an den Leistungskategorien „gut gelöst", „befriedigend gelöst" und „nicht gelöst" des Zwischentests.

ungsmittel die bildliche Darstellung beim Auffassen und Behalten von Lerninhalten übertrifft. Am wirksamsten erwies sich jedoch der reale Gegenstand. Die Probanden (N = 122, Hauptschüler und Gymnasiasten der 5. und 6. Jahrgangsstufe) erhielten Informationen über das Meerschweinchen von einem Tonband - damit unterschied sich die Vermittlung der Lerninhalte grundsätzlich von der in der vorliegenden Untersuchung - und konnten je nach Versuchsgruppenzugehörigkeit während der Informationsaufnahme das Bild eines Meerschweinchens, ein ausgestopftes Tier - für die Autoren war dies das Modell - oder ein lebendes Meerschweinchen in einem Glaskasten betrachten.

Diese Form des Medieneinsatzes bezeichnet Staeck (1995, 267) als „Enrichment"-Methode; er lehnt sie ab, weil dabei die Inhalte nicht mit Hilfe des Mediums erarbeitet werden; das Medium liefert lediglich Zusatzinformationen, die die Vermittlung unterstützen. Dagegen bevorzugt er das „Kontext"-Modell, bei dem die Medien in das Unterrichtsgeschehen integriert werden. Nach dieser Methode ging er auch bei seiner Felduntersuchung über die Lernwirksamkeit verschiedener Medien und Medienkombinationen bei Realschülern (N = 281) der 7. Jahrgangsstufe vor (Staeck 1980). Sechs verschiedene Treatments (Buchprogramm/Wandbild, Diareihe, realer Gegenstand, Modell/Arbeitstransparent, Filmsequenz, Kontrolle) vermittelten den Schülern Informationen über den Regenwurm. Aufgrund der gemessenen Lernzuwächse (Differenzmaß) belegte die Versuchsgruppe mit dem Treatment „Modell/ Arbeitstransparent" nur Rang vier; lediglich die Versuchsgruppe „Filmsequenz" und die Kontrollgruppen schnitten schlechter ab. Das schlechte Abschneiden des Treatments „Modell/Arbeitstransparent" führte Staeck (1980, 172) einerseits „[...] auf die visuelle Potenz der modellhaft/schematischen Darstellungsform [...]" zurück, andererseits monierte er, daß sich die Schüler mit dem Modell nicht im Sinne eines „Operationsobjektes" auseinandersetzen konnten, d. h. es nicht anfaßten und genauer untersuchten, weil pro Klasse nur ein Exemplar zur Verfügung stand.

Auch von den in der vorgestellten Untersuchung verwendeten Stand- und Magnettafelmodellen zum Elektronentransport konnte aus Kostengründen in der vorliegenden Untersuchung pro Leistungskurs jeweils nur ein Set eingesetzt werden. Trotzdem waren die Kursleiter gehalten, die Schüler in die Modellbedienung mit einzubeziehen, um ihnen den direkten Kontakt mit den Modellen zu ermöglichen. Unter Anleitung des Kursleiters wurde der Ablauf des Elektronentransports im Unterrichtsgespräch erarbeitet. Dabei kam es darauf an, mit den Modellen den Weg der Elektronen zu erkunden. Stellvertretend für den restlichen Kurs, führten Schüler Teilvorgänge des Elektronentransports am Modell vor. Somit dienten die Modelle bei der Erarbeitung der Lerninhalte als Erkundungsinstrumente und bei deren Festigung als Erklärungshilfen.

Voss (1987) überprüfte in einer Felduntersuchung die Lernleistungen und Einstellungen von Schülern (N = 204) der gymnasialen Oberstufe zum Medium Computer. Dem einen Teil der Probanden wurden Inhalte zur Ökologie (Räuber-Beute-Beziehung) und Stoffwechselphysiologie (Enzymkinetik) im computergestützten Unterricht vermittelt. Beim Thema „Enzymkinetik" erarbeitete der andere Teil die gleichen Inhalte im Experimentalunterricht. Voss verglich damit den Einfluß der Experimentalmethode auf die Lernleistung mit dem der Modellmethode, zu der die Computersimulationen gerechnet werden können. Mit beiden Treatments (Computersimulation, Experimente) erzielten die Versuchsgruppen nahezu gleiche Ergebnisse.

In der vorliegenden Untersuchung geht es jedoch um einen Vergleich der unterrichtlichen Wirksamkeit von Medien (Modelle und OH-Folien). Damit kommt das Feldexperiment der Fragestellung der Staeckschen Untersuchung am nächsten. Während dieser Autor jedoch ein statisches Modell (Strukturmodell) des Regenwurms einsetzte, repräsentieren die Stand- und Magnettafelmodelle in der beschriebenen Untersuchung den Typus des dynamischen Modells. Mit ihnen konnten die Schüler während des Unterrichts hantieren

und sich aktiv auseinandersetzen. Das In-die-Hand-nehmen der Modelle war während eines bestimmten Unterrichtsabschnitts immer nur einem Schüler möglich, weil - wie oben bereits ausgeführt - nur ein Modellset pro Kurs zur Verfügung stand. So versorgte nicht nur der visuelle Kanal den Wahrnehmungsprozeß mit Daten aus dem dreidimensionalen Bereich, sondern auch der haptische. Die Modelle können somit im Sinne von Staeck (1980) als echte „Operationsobjekte" angesehen werden. Edelmann (1996, 234) nennt als Folge des Hantierens mit Unterrichtsgegenständen den „[...] Erwerb von Sachwissen durch handelnden Umgang mit Dingen [...]". Bei OH-Folien bekommen die Schüler dagegen nur Informationen des visuellen (zweidimensionalen) Bereichs, eine unmittelbare Erfahrungsbildung durch die handlungsmäßige Auseinandersetzung mit dem Unterrichtsgegenstand unterbleibt.

Die **Zweikanaligkeit** bei der Informationsvermittlung über die gegenständlichen Modelle kann den höheren Wissenszuwachs der Versuchsgruppe M im Vergleich zur Gruppe O begünstigt haben, alleine war sie wohl nicht dafür verantwortlich, weil nicht für jeden Kursteilnehmer ein Modellset bereitstand. Bei einer Kursstärke bis maximal 25 Schüler konnte aus Zeitgründen nicht jeder Proband die Modelle in die Hand nehmen und den Elektronentransport durchspielen.

Unser Gehirn bildet bei der Datenverarbeitung und -speicherung (≙ Wahrnehmung) die Umwelt nicht einfach ab, die Wahrnehmung ist vielmehr „konstruktiv" (Roth 1995, 112), d.h. in der Auseinandersetzung mit der Umwelt entstehen in unserem Gehirn Konstrukte, die bestimmte Gegenstände, Sachverhalte oder Zusammenhänge repräsentieren. Auch Aebli (1983) verlangt ein „Nachkonstruieren" von Abläufen und Prozessen und erhält für diese Forderung eine indirekte Begründung durch die moderne, kognitive Neurobiologie, die Roth vertritt. Modelltheoretisch gesehen sind die Konstrukte interne Modelle, die im Bewußtsein des Modellbildners entstehen und als Grundlage für die Bildung externer Modelle dienen.

Die aktive Auseinandersetzung des Schülers mit den Unterrichtsinhalten muß der Lehrer nach Aebli (1983) unterstützen. Der genannte Autor schreibt dazu: „Derartige gedankliche Nachkonstruktionen erfordern [...], daß der Prozeß oder der Ablauf der individuellen oder kollektiven Handlungen dem Schüler irgendwie vorgeführt wird" (Aebli 1983, 105).

Genau diese Forderung erfüllen die eingesetzten Modelle. Der Prozeß des Elektronentransports wird den Schülern durch die rollenden Stahlkugeln in abschüssigen Schienen bzw. durch die Stahlrollen an Magneten anschaulich demonstriert. Abstrakte Begriffe wie Redoxpotentialwert oder Elektronendruck werden in Form von Säulen mit aufliegenden Stahlkugeln konkretisiert und analogisiert. Die Veränderung des Elektronendrucks bei der Lichtabsorption wird durch das Anheben einer Stahlkugel auf ein höheres Niveau für die Schüler begreiflich. Geneigte Schienen, auf denen Stahlkugeln rollen können, reduzieren die Funktion der Redoxsysteme auf das Wesentliche, nämlich die Weitergabe von Elektronen vom höheren zum niederen Niveau. Die Anreicherung von Protonen in einem bestimmten Kompartiment ergibt sich als Folge des Elektronentransports. Die Wirkungsweise der ATP-Synthase kann von den Schülern als Antrieb einer Turbine nachvollzogen werden. Somit wird auch ein Grundanliegen der Vermittlung des Elektronentransports in der Schule aufgezeigt, nämlich die Demonstration der nur indirekten Koppelung von Elektronentransport und Phosphorylierung. Unterstützt wird die Wirksamkeit der Demonstration der verschiedenen Prozesse (Elektronentransport, Aufbau eines Protonengradienten, ATP-Bildung) durch die Farbgebung der Modellkomponenten und durch die Abstimmung der Farbsymbolik der Standmodelle auf die der Magnettafelmodelle. Entscheidend bei der Wirkung der Modelle auf kognitive Leistungen der Schüler dürfte jedoch sein, daß Prozesse, also die zeitlichen und logischen Abfolgen verschiedener Zustände eines Systems, durch die Modelle simuliert werden können. Die Modelle können damit die Dynamik des Elektronentransports

wiedergeben, wozu die statischen Schemata auf den OH-Folien und der Wandtafel nicht in der Lage sind.

Die **Analogiebildung**, die die Modelle beim **„Aufbau der gedanklichen Nachkonstruktionen"** für die Schüler erbrachten, dürfte somit bedeutsam für die größere unterrichtliche Wirksamkeit des Treatments M gewesen sein.

Sicherlich beeinflußten die Modelle auch die **Lernmotivation** der Schüler positiv (vgl. Staeck 1995, 270). Sie erhöhten durch ihren bloßen Einsatz das Interesse und die Neugier der Schüler für die komplexen Themen „Photosynthese" und „Biologische Oxidation" und zogen die Aufmerksamkeit mehr auf sich, als es die Schemata vermochten. Zusätzlich lockerten sie die Medienmonotonie auf - im Biologieunterricht der Kollegstufe dominieren die OH-Folien - , auch könnten sie in gewissem Maße dazu beigetragen haben, den Schwierigkeitsgrad des Unterrichtsthemas „Elektronentransport" an die Vorerfahrungen der Schüler anzupassen. Durch die Säulen der Standmodelle und durch ihren Vergleich mit den Modellen der Metall-Redoxsysteme wird für die Schüler einsichtig, daß selbst kompliziert aufgebaute, organische Moleküle, wie Chlorophyll oder NADPH, als einfache Ein- oder Zwei-Elektronensysteme in den Elektronentransport integriert werden können. Diese Anpassung an Bekanntes kann sich nach Heckhausen (1968) als besonders motivationsfördernd erweisen.

Für Killermann (1995, 216) bilden Modelle „Verständnis- und Merkhilfen", die den Schüler beim Verstehen und Einprägen biologischer Zusammenhänge unterstützen. Sicherlich trug auch diese Funktion der Modelle dazu bei, daß das Treatment M kognitive Leistungen der Schüler stärker förderte als das Treatment O.

Nachtest I (Wissenstest nach der unterrichtlichen Behandlung)

Beim Nachtest I schnitt die Versuchsgruppe M um 1,2 Punkte (Differenz der Mittelwerte) besser ab als die Vergleichsgruppe. Das entspricht einer Zunahme um 12,6 %. Die Verbesserung beim Nachtest I kann als direkte Folge der unterrichtlichen Behandlung der Versuchsgruppen angesehen werden. Bemerkenswert ist wiederum die große Spannbreite der Einzelwerte, die bei Gruppe O 17 Punkte und bei Gruppe M 13 Punkte umfaßt. Die sich hier andeutende Heterogenität bei den Vortest- und Nachtestleistungen der Versuchsgruppe O wird im Vergleich der Abbildungen 6 und 7 augenfällig. Der Unterricht mit den Modellen und Schemata führte somit innerhalb der Versuchsgruppe M zu einem einheitlicherem Leistungsbild beim Vortest und Nachtest I als der Unterricht für die Versuchsgruppe O, in dem nur die Medien OH-Folien und Wandtafel verwendet wurden.

Treatment M u n d Treatment O ermöglichten es grundsätzlich ihren Probanden, beim Nachtest gute Ergebnisse zu erzielen; Schüler beider Versuchsgruppen erreichten maximal 18 Punkte. Dies spricht wiederum für die Ausgewogenheit der beiden Treatments. Insgesamt schaffte es jedoch Treatment M besser als das Vergleichstreatment, die Leistungen der Probanden anzuheben.

Nachtest II (Behaltenstest)

Mit dem zweiten Nachtest (NT II), der im Zeitraum von 4 - 8 Wochen nach der Unterrichtssequenz abgehalten wurde, war beabsichtigt, Unterschiede bei der Behaltensleistung der Schüler beider Versuchsgruppen herauszufinden. Vergleicht man die Ergebnisse der Mittelwerte des NT II von Gruppe M mit denen von Gruppe O, so ist nur eine Differenz von 0,14 Punkten zugunsten der Probanden des Treatments M festzustellen. Da dieser minimale Vorsprung statistisch nicht abgesichert werden kann, darf seine Aussagekraft nicht überbetont werden.

Etwas günstiger stellt sich die Situation für die Versuchsgruppe M dar, wenn man sich die Unterschiede des Differenzmaßes II (DIFF II = Punkte $_{NT\ II}$ - Punkte $_{VT}$) betrachtet. DIFF II kann als Indikator für die Behaltensleistung angesehen werden. Hier liegen die Schüler, die mit den Modellen unterrichtet wurden, beim Vergleich der Mittelwerte des Differenzmaßes II um einen Punkt (≙13,4 %) über dem Ergebnis der Versuchsgruppe O; doch

auch dieser Unterschied ist nicht signifikant. Somit darf man das bessere Abschneiden der Versuchsgruppe M bei der Behaltensleistung nur als Tendenz ansehen.
Betrachtet man die Punktedifferenz aus NT I - NT II - Staeck (1980, 147) nennt sie den **Wissensverlust** oder die **Vergessensrate** - so zeigt sich, daß der Wert der Vergessensrate bei der Versuchsgruppe M um 0,6 Punkte größer ist als der Wert, den die Versuchsgruppe O erreicht hat. Da dieser Unterschied als nicht signifikant eingestuft werden muß ($p > 0{,}05$; MWU; zweiseitig), kann man den Wissensverlust der Probanden aus Versuchsgruppe M nicht generell höher als den der Vergleichsprobanden einstufen. Wenn die höhere Vergessensrate jedoch als Tendenz anzusehen ist, müßte in einer zukünftigen Untersuchung genau geklärt werden, ob die plastischen Modelle die längerfristige Wissensspeicherung nicht unterstützen.

Differenzierungen beim Wissenszuwachs

1. Geschlecht
Die geschlechtsspezifischen Unterschiede - Mädchen der Versuchgruppe M erreichten beim Wissenszuwachs bessere Ergebnisse als die der Vergleichsgruppe O - hinsichtlich der Wirksamkeit der beiden Treatments könnten damit zusammenhängen, daß die Konkretisierung von abstrakten Zusammenhängen des Elektronentransports durch die Modelle den Mädchen eine größere Hilfestellung beim Verständnis bot als den Jungen.
Bei der Untersuchung von Voss (1987, 74/107; Modellmethode/Experimentalmethode) jedoch erreichten Jungen generell einen höheren Lernerfolg als Mädchen. Staeck (1980) stellte dagegen in seiner Untersuchung signifikant bessere Lernleistungen bei den Mädchen als bei den Jungen fest. Das bessere Abschneiden der 12- bis 13-jährigen Schülerinnen begründete er mit einem entwicklungspsychologischen Reifevorsprung gegenüber den Jungen. Im Gegensatz zu den zitierten Autoren führte bei der vorliegenden Felduntersuchung die unabhängige Variable „Geschlecht" a l l e i n nicht zu signifikanten Unterschieden bei den Wissenszuwächsen zwischen den Schülerinnen und den Schülern, sondern nur im Zusammenhang mit dem Treatment M.

2. Ausbildungsrichtung
Da sowohl Schüler mit vertiefter mathematisch-naturwissenschaftlicher Ausbildung als auch solche ohne diese vertieften Kenntnisse durch Treatment M jeweils einen höheren Wissenszuwachs als durch Treatment O erreichten, spielt die Ausbildungsrichtung beim Einfluß der Treatments auf den Wissenszuwachs keine Rolle. Das Treatment M fördert somit unabhängig von der Vorbildung das Wissen der Schüler über stoffwechselphysiologische Zusammenhänge mehr als das Treatment O. Somit können die Modelle in mathematisch-naturwissenschaftlichen und in neusprachlich ausgerichteten Gymnasien mit vergleichbarem Erfolg eingesetzt werden.

3. Schulleistungen
Voss (1987, 98) ermittelte in seiner Untersuchung einen direkten Zusammenhang zwischen Lernzuwachs (Wissenszuwachs) und der Biologienote des Vorjahres bei seinen Probanden. Ein vergleichbarer Zusammenhang zwischen den Schulleistungen der Kollegiaten (1. HJ des Biologieleistungskurses und 11. Jg.) und dem Wissenszuwachs konnte in der vorliegenden Untersuchung nicht festgestellt werden. Sowohl leistungsschwache als auch leistungsstarke Schüler profitieren hinsichtlich ihres Wissenszuwachses vom Treatment mit den Modellen mehr als vom Vergleichstreatment; d. h. durch die Modelle lassen sich die fachlichen Zusammenhänge des Elektronentransports bei der Photosynthese und der Biologischen Oxidation „schlechten" wie „guten" Schülern (im Sinne von Schulbenotungen) in gleicher Weise verdeutlichen.

4.2 Diskussion der Ergebnisse der Problemlösungskompetenz

Im Unterricht, der zum Zwischentest (zwischen VT und NT I) hinführte, wurden den Probanden beider Treatments folgende Inhalte vermittelt:

- Zusammenhang zwischen Elektronendruckgefälle/Elektronenlücke und Elektronentransport; Elektronendonator; Elektronenakzeptor;
- Erhöhung des Elektronendrucks von P680 und P700 durch Lichtabsorption;
- Wasser und NADP+ als Redoxsysteme mit einem bestimmten Elektronendruck.

Somit waren für die Schüler die Voraussetzungen geschaffen, selbständig den photosynthetischen Elektronentransport zu erarbeiten. Die Aufgabe des Zwischentests verlangte seine Darstellung in freier Form. Das Ergebnis sollte Aufschluß über die Fähigkeit der Probanden geben, das aufgezeigte Problem zu lösen.
Gagné (1969, 136) stellt zum Lösen von Problemen im Unterrichtszusammenhang fest: „Problemlösen geschieht, wenn die dem Lernenden gebotenen Instruktionen keine sprachlich formulierte 'Lösungen' enthalten, sondern verlangen, daß eine Lösung 'auf eigene Faust' konstruiert wird".
Dieses selbständige Erarbeiten von Zusammenhängen - hier letztendlich die Darstellung des Elektronentransports bei der Photosynthese in einer Art Z-Schema - gelang 71 Probanden der Versuchsgruppe M und 18 Probanden der Versuchsgruppe O; d. h. 44,1 % aller Probanden des Zwischentests (N = 202) konnten, wie es Staeck (1995, 269) ausdrückt, „[...] selbständig Sacheinsichten gewinnen und zu Arbeitsergebnissen gelangen [...]". Daß davon ca. 80 % aus der Versuchsgruppe M stammten zeigt, daß Schüler mit den Modellen das gestellte Problem besser lösen konnten und somit ihre Problemlösungskompetenz größer als die der Vergleichsgruppe war.
Über eine ähnliche Wirkung von Modellen beim Lösen von Programmieraufgaben berichten Mandl/Friedrich/Hron (1986, 206): „Jedoch schnitten die Vpn, die diese Varianten [Modell + Text, d. V.] des Instruktionsmaterials erhalten hatten, bei den komplexen Problemen [...] am besten ab."
55,9 % der Probanden des Zwischentests lösten die gestellte Aufgabe nicht. Dies dürfte auf mehrere Ursachen zurückzuführen sein. Einmal könnte die Instruktion der Schüler nicht gründlich genug erfolgt und die Aufgabenstellung dann zu schwierig ausgefallen sein. Dagegen sprechen die Einschätzungen der an der Vor- und Hauptuntersuchung beteiligten Kursleiter, die die Aufgabenstellung bezogen auf den vorausgehenden Unterricht für angemessen hielten.
Zum anderen ist denkbar, daß die Schüler im Biologieunterricht und bei den Leistungserhebungen in Biologie zu wenig im Problemlösen geschult werden und die Aufgabe somit etwas Neuartiges für sie darstellte. Dies müßte jedoch erst durch eine Untersuchung geklärt werden.
Ausubel (1974, 613f.) belegt anhand einer Vielzahl von Beispielen, daß Problemlösungsfertigkeiten „übbar" sind, also auch im Unterricht trainiert werden können. Edelmann (1996) fordert, daß Problemlösen ein eigener Unterrichtsgegenstand sein muß, denn „Problemlösendes Denken entwickelt sich nicht als Zusatzeffekt beim Wissenserwerb" (Edelmann 1996, 339).

5. Ausblick

Durch den Einsatz der neu entwickelten gegenständlichen Modelle zum Elektronentransport der Photosynthese und der Biologischen Oxidation konnten kognitive Leistungen, wie Wissenszuwachs und Problemlösungskompetenz, bei Schülern von Biologieleistungskursen der beteiligten Gymnasien stärker gefördert werden als ohne diese Modelle.
Der Wissenszuwachs bezieht sich bei der Untersuchung auf Lerninhalte zur Photosynthese und Biologischen Oxidation, während die Problemlösungskompetenz nur den energetischen Aspekt des photosynthetischen Elektronentransports betrifft. Die Tests zur Feststellung der beiden Größen unterscheiden sich vom inhaltlichen und zeitlichen Umfang (Wissenszuwachs: 20 Items, 15 Min.; Problemlösungskompetenz: 1 Item, 5 Min.), deshalb muß die gleichgewichtige Beurteilung beider Ergebnisse relativiert werden. Die unterschiedliche Gewichtung kann jedoch als Anstoß dienen, in einer zukünftigen Untersuchung den Komplex „Problem-lösungskom-

petenz - Biologieunterricht - Beeinflussung durch Treatments" intensiver zu bearbeiten, um damit seiner Bedeutung für die Evaluation und Entwicklung der Denkfähigkeit von Schülern in höherem Maße gerecht zu werden.

Die Wissenstests überprüften nur einen Teilausschnitt der unterrichtlichen Effektivität der Modelle, den Wissenszuwachs. Daneben dürfte der Modelleinsatz auch die **Einstellung** und das **Interesse** der Schüler an der Stoffwechselphysiologie bzw. am Fach Biologie beeinflußt haben. Dies wurde jedoch nicht gemessen.

Da bei der Beschäftigung mit den Modellen ein handlungsorientiertes Moment mitwirkt, dürfte es bei den Schülern zu einem Zuwachs an **Fähigkeiten im psychomotorischen Bereich** gekommen sein. Dies blieb jedoch bei den Tests unberücksichtigt, weil die Kursleiter zur Messung der instrumentellen Fähigkeiten der Schüler, z. B. richtige Handhabung des Modells, umfangreiche Beobachtungen hätten durchführen müssen. Dazu fehlt aber in einem Leistungskurs, dessen Lehrplan durch eine große Stoffülle geprägt ist, die Zeit.

Die konzipierten Unterrichtseinheiten, in die die Modelle integriert wurden, decken nur ein Segment möglicher Einsatzvarianten der Modelle ab. Zusätzlich denkbar wäre ein stärker problemorientierter Ansatz, bei dem Kleingruppen (2-3 Schüler) mit je einem Modellset arbeiten und selbständig zu neuen Erkenntnissen gelangen. Interessant wäre auch die Klärung folgender Fragen: Wie setzen Kursleiter die Modelle ohne methodisch-didaktische Vorgaben ein? Könnte durch den eventuellen „falschen" Gebrauch der Modelle das Verständnis für die stoffwechselphysiologischen Zusammenhänge erschwert werden? Wie wirkt sich der Einsatz der Modelle als reine Erkundungsmodelle auf die unterrichtliche Effektivität aus; d.h. liegt ihre Stärke mehr in der Veranschaulichung und Erklärung komplexer Vorgänge?

Zielgruppe für die Erprobung der Stand- und Magnettafelmodelle bei der Untersuchung waren Kollegiaten von Biologieleistungskursen des Gymnasiums. Im Rahmen einer hochschuldidaktischen Untersuchung wäre zu klären, ob diese Modelle in einer Physiologievorlesung für Studienanfänger wirkungsvoll eingesetzt werden könnten. Die Verwendung der Standmodelle wäre vom Schwierigkeitsgrad her auch in einem Biologiegrundkurs denkbar.

Einzelne Modellkomponenten eignen sich auch für den unterrichtlichen Einsatz außerhalb der Stoffwechselphysiologie (z. B. Magnete zur Darstellung des Ruhe- und Aktionspotentials oder des Osmosevorgangs; Säulen zur Verwendung im Chemieunterricht, um den Redox- und Redoxpotentialbegriff einzuführen).

Neben der Überprüfung des Einflusses auf kognitive Leistungen von Schülern diente der Modelleinsatz im Rahmen der empirischen Untersuchung auch dazu, Konzeption und Handhabung der Modelle im unterrichtlichen Alltag zu testen und eventuell zu verbessern.

Ausgehend von der Evaluation des Standmodells „Photosynthese" und des gleichnamigen Magnettafelmodells entstand als Kombination beider Einzelmodelle das **3D-Modell „Photosynthese"** (vgl. Abb. 11), mit dem der energetische und der topologische Aspekt des photosynthetischen Elektronentransports sowie die Protonenanreicherung und die Photophosphorylierung dargestellt werden können. Der Wert einer derartigen, dreidimensionalen Veranschaulichung des photosynthetischen Elektronentransports wurde bisher in der fachdidaktischen Literatur noch nicht beschrieben.

Um den membranbezogenen und den energetischen Aspekt in <u>einem</u> Modell darzustellen, wurde daher in dem neuen Modell das Standmodell (als „z-Achse") auf das zweidimensionale Magnettafelmodell gesetzt. Somit haben alle drei Raumachsen Abbildungsfunktion. Die x- und y-Achse stehen für die Flächenausdehnung des Membranprofils mit den darin befindlichen Komplexen und Redoxsystemen; die z-Achse gibt den Redoxpotentialwert wieder.

Es wurde versucht, mit einer dreidimensionalen Anordnung der Modellkomponenten den

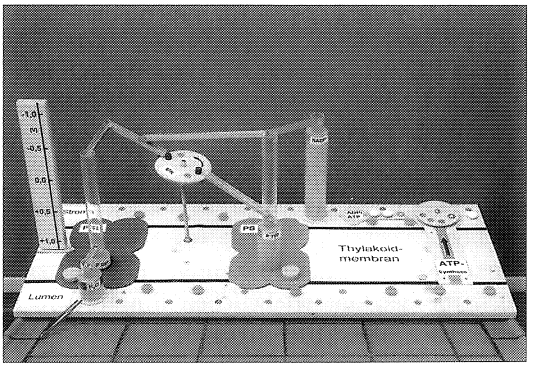

Abb. 11: 3D-Modell „Photosynthese".

Zusammenhang zwischen lichtabhängiger Anregung des Chlorophylls, Elektronentransport und Photophosphorylierung für den Unterricht zu veranschaulichen. Die Konstruktion des 3D-Modells geht über eine reine Kombination des Stand- und Magnettafelmodells hinaus, denn es flossen Verbesserungen im Bereich der Koppelung von Elektronentransport und Protonenanreicherung in das Modell ein.

Aufgrund seiner relativ kompakten Abmessungen (800 mm x 400 mm) kann das 3D-Modell problemlos in jeden Unterrichtsraum transportiert werden oder auch dort zusammengebaut stehen bleiben, ohne viel Platz einzunehmen. Es ist teilweise zerlegbar und kann so als Teilmodell eingesetzt werden. Seine solide Ausführung läßt es zu, daß es nicht nur als Demonstrationsmodell vom Lehrer eingesetzt wird, sondern auch als Arbeitsmodell von Schülern genutzt werden kann. Allerdings ist seine Herstellung aufwendig und relativ teuer.

Die Vermittlung biochemischer Prozesse im Unterricht sollte auf keinen Fall nur durch Modelle oder andere Medien erfolgen; sie müßte, soweit möglich, immer von Experimenten begleitet werden. Modelle könnten jedoch in die Planung und Auswertung von Schulexperimenten einbezogen werden (vgl. Klautke/Köhler/Krischke 1992). Wie dieses Zusammenspiel von Experimental- und Modellmethode (vgl. Klautke 1990, 1997) aussehen und optimiert werden müßte, könnte der Ansatz für eine weitere, fachdidaktische Untersuchung sein.

Literatur

Aebli, H. (1983): Zwölf Grundformen des Lehrens. Klett Cotta, Stuttgart.

Ausubel, D. P. (1974): Psychologie des Unterrichts. Bd. 2. Beltz, Weinheim/Basel.

Bayerisches Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst (1991): Lehrplan für das bayerische Gymnasium. Fachlehrplan für Biologie. Fachlehrplan für das biologisch-chemische Praktikum. Amtsblatt des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst, Teil I, Sondernummer 7/1991, München, 1125 - 1185.

Becker, H.-J./Glöckner, W./Hoffmann, F./Jüngel, G. (1980): Fachdidaktik Chemie. Aulis, Köln.

Berks, R./Kremer, B. P. (1979): Das Thema Photosynthese im Oberstufenkurs Biologie. Unterricht Biologie, H. 35, 46.

Braun, T. M. (1994): Lichtabhängige Reaktion der Photosynthese. Praxis der Naturwissenschaften - Biologie 43, H. 5, 30 - 32.

Brucker, G./Kalusche, D. (1975): Kinetisches Modell zu den Primärprozessen der Photosynthese. Praxis der Naturwissenschaften - Biologie 24, H. 9, 233 - 238.

Düker, H./Tausch, R. (1957): Über die Wirkung von Veranschaulichung von Unterrichtsstoffen auf das Verhalten. Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie IV, H. 4, 384 - 399.

Edelmann, W. (19965): Lernpsychologie. Psychologie Verlags Union, Weilheim.

Eschenhagen, D./Schilke, K. (1973): Untersuchungen zum biologischen Wissen von Studienanfängern. Praxis der Naturwissenschaften - Biologie 22, H. 10, 253 - 263.

Füller, F. (1992): Biologische Experimente: Bedeutung und Effektivität. In: Killlermann, W. (Hrsg.): Münchner Schriften zur Didaktik der Biologie. Bd. 8, München.

Gagné, R. M. (1969): Die Bedingungen des menschlichen Lernens. Schroedel, Hannover.

Gaude, P./Teschner, W.-P. (1970): Objektivierte Leistungsmessung in der Schule. Diesterweg, Frankfurt/Main.

Hesse, M. (1981): Wird CO_2 in der Photosynthese reduziert oder oxidiert? Praxis der Naturwissenschaften - Biologie 81, H. 9, 268 - 276.

Högermann, C. (1992): Redoxsysteme der nichtzyklischen Photophosphorylierung - Modell für den Sekundarbereich II. Praxis der Naturwissenschaften - Biologie 41, H. 8, 20 - 22.

Ingenkamp, K. (1985): Lehrbuch der pädagogischen Diagnostik. Beltz, Weinheim/Basel.

Jaenicke, J. (Hrsg.) (1992): Materialienhandbuch Kursunterricht Biologie, Bd. 2, Stoffwechselbiologie, Aulis, Köln.

Killermann, W. (199510): Biologieunterricht heute. Eine allgemeine Didaktik. Auer, Donauwörth.

Klautke, S. (1990): Für und Wider das Experiment im Biologieunterricht. In: Killermann, W./ Staeck, L. (Hrsg.): Methoden des Biologieunterrichts. Aulis, Köln, 70 - 82.

Klautke, S. (1997): Ist das Experimentieren im Biologieunterricht noch zeitgemäß? Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 50, H. 6, 323 - 329.

Klautke, S./Köhler, K./Krischke, N. (1992): Der Flug der Vögel. Unterricht Biologie, H. 178, 48 - 53.

Leibold, K. (1990): Die Lichtreaktion der Photosynthese. Unterricht Biologie, H. 160, 31 - 33.

Löwe, B. (1980): Empirische Untersuchungen zum kognitiven Lernerfolg und zur Änderung der sachbezogenen Motivation im Biologieunterricht in Abhängigkeit vom Unterrichtsverfahren. biologica didactica 3, 47 - 68.

Mandl, H./Friedrich, H./Hron, A. (1986): Psychologie des Wissenserwerbs. In: Weidenmann, B./Krapp, A. (Hrsg.): Pädagogische Psychologie. Urban & Schwarzenberg, München, 143 - 218.

Martens, T. (1986): Konzeption und Konstruktion neuer molekulargenetischer Modelle, Folien und Computersimulationen Erprobung in der Sekundarstufe II unter besonderer Berücksichtigung ihrer Effektivität. Dissertation an der Pädagogischen Fakultät der Universität Bonn.

Meurs, H. (1983): Photosynthese experimentell - Die Bedeutung des Faktors Licht für die Primärreaktion der Photosynthese. Der Biologieunterricht 19, H. 4, 34 - 56.

Neubauer, C. (1996): Ein dynamisches Unterrichtsmodell: Photosynthese und mitochondriale Atmung unter besonderer Berücksichtigung der Energiegewinnung unter Anwendung der Mitchell-Hypothese. Praxis der Naturwissenschaften - Biologie 45, H. 4, 1 - 10.

Rollett, B. (1974): Das Design in der empirischen Unterrichtsforschung. In: Roth, L. (Hrsg.): Beiträge zur empirischen Unterrichtsforschung. Schroedel, Hannover, 72 - 102.

Roth, G. (19952): Das Gehirn und seine Wirklichkeit. Suhrkamp, Frankfurt/Main.

Schneider, K./Walter, U. (1992): Lernfördernde Gestaltung von Bild- und Textmaterialien für den Gesundheitsbereich. Europäische Hochschulschriften, Lang, Frankfurt.

Staeck, L. (1980): Medien im Biologieunterricht. Scriptor, Königstein/Ts.

Staeck, L. (19955): Zeitgemäßer Biologieunterricht. Cornelsen, Berlin.

Stöhr, K. E. (1981): Die Bedeutung der Modellmethode für den Biologieunterricht in der Hauptschule. Dissertation an der Fakultät für Biologie der Julius-Maximilians-Universität München.

Voss, H. W. (1987): Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Computersimulationen im Biologieunterricht der Sekundarstufe II Softwareentwicklung und unterrichtspraktische Erprobung. Dissertation an der Pädagogischen Fakultät der Universität Bonn.

Wendel, C. (1996): Primärreaktionen der Photosynthese. Praxis der Naturwissenschaften - Biologie 45, H. 4, 18 - 20.

Wendel, C. (1998): Lichtabhängige Reaktion der Fotosynthese. Praxis der Naturwissenschaften - Biologie 47, H. 1, 41 - 43.

Zöller, W. (1971): Die Erstellung informeller Tests. Der Biologieunterricht 7, H. 1, 11 - 26.

Dr. Kurt Leibold unterrichtet als Studiendirektor am Alexander-von-Humboldt-Gymnasium in Schweinfurt.
Prof. Dr. Siegfried Klautke ist Inhaber des Lehrstuhls für Didaktik der Biologie an der Universität Bayreuth.

Dr. Kurt Leibold
Universität Bayreuth
Lehrstuhl Didaktik der Biologie
Universitätsstr. 30 / NW I
95440 Bayreuth
e-mail: didaktik-biologie@uni-bayreuth.de