

**Unterstützung kumulativer Lernprozesse durch den Einsatz
metakognitionsfördernder Unterrichtsstrategien
- ein Unterrichtsbeispiel für den Biologieunterricht zum Thema „Zelle“ -**

Prof. Dr. Ute Harms & Corina Gonzalez-Weil
Ludwig-Maximilians-Universität, München

Ein Beitrag zum BLK-Programm
„Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts (SINUS)“

Inhalt

- 1 Einleitung**
- 2 Was ist unter kumulativem Lernen zu verstehen?**
 - 2.1 Aufbau von Wissensstrukturen**
 - 2.2 Differenzierung von Wissensstrukturen**
 - 2.3 Bedeutung des Vorwissens für kumulatives Lernen**
- 3 Metakognition**
 - 3.1 Der Begriff**
 - 3.2 Metakognitionsfördernde Strategien**
- 4 Begründung der Auswahl des Themas „Zelle“**
- 5 Einsatz metakognitionsfördernder Strategien im Biologieunterricht zum Thema „Zelle“**
- 6 Literatur**

1 Einleitung

Der Begriff des kumulativen („vernetzten“) Lernens hat im Zuge der internationalen Schulleistungsstudien TIMSS und PISA praktische Bedeutsamkeit erlangt. „Der Wissenserwerb verläuft wenig kumulativ“, stellen Baumert et al. (1999) angesichts einer im internationalen Vergleich langsamen Leistungsentwicklung deutscher Schülerinnen und Schüler in den naturwissenschaftlichen Fächern fest. Als Folge dieser Erkenntnis wurden in der letzten Zeit zahlreiche Vorschläge für den schulischen Unterricht – insbesondere für das Fach Biologie – entwickelt, in denen konkrete Unterrichtsmaßnahmen zur Förderung „vernetzten Lernens“ eingesetzt werden (s. PdN – BioS 7/50). Zu solchen Maßnahmen zählen zum Beispiel die Verwendung von Begriffsnetzen oder die Förderung kumulativen Lernens durch den vermehrten Einsatz schematischer Darstellungen im Unterricht.

Kumulatives Lernen kann sowohl innerfachlich als auch fachübergreifend gemeint sein. Innerfachlich kumulativ zu lernen bedeutet, innerhalb des Faches, vertikal vernetzend zu lernen; fachübergreifend kumulativ zu lernen bedeutet, über die Grenzen des einzelnen Faches hinaus, d.h. horizontal vernetzend zu lernen (Bayrhuber et al. 1997). Für das fachübergreifende Lernen formulieren Blank et al. (2001) konkrete Lernaufgaben, die horizontale Vernetzungen beim Lernen befördern sollen. In einer Handreichung des Verbandes Deutscher Biologen (2002) wird die Förderung kumulativen Lernens im Fach durch die Vermittlung der Biologie auf der Grundlage von dreizehn Erschließungsfeldern (wie z.B. Vielfalt, Fortpflanzung, Energie) vorgeschlagen und in konkrete Unterrichtsvorschläge für die Klassenstufen 5 bis 10 umgesetzt.

In unserem Unterrichtsvorschlag, der zur Zeit mit 221 Schülerinnen in Hinblick auf kumulativen Wissenserwerb und Verständnisentwicklung evaluiert wird (vgl. Gonzalez-Weil & Harms 2001, 2002), wird eine weitere Maßnahme zur Förderung kumulativen Lernens vorgeschlagen: der Einsatz und die Kombination metakognitiver Unterrichtsstrategien.

In unserem Beitrag wird zu Beginn der Begriff „kumulatives Lernen“, wie er unserer Arbeit zu Grunde liegt, erklärt (nach Harms & Bündler 1998). Im Anschluss daran werden der Begriff „Metakognition“ und die verwendeten metakognitionsfördernden Strategien erläutert. Es folgt dann die Vorstellung einer Unterrichtseinheit zum Thema „Zelle“, in der die genannten metakognitionsfördernden Strategien mit dem Ziel, bei den Schülerinnen und Schülern kumulative Lernprozesse zu befördern, eingesetzt werden.

2 Was ist unter kumulativem Lernen zu verstehen?

Der BLK-Expertise folgend ist Kumulativität des Lernens die Voraussetzung für das Erfahren von Kompetenzzuwachs im Unterricht:

Kumulatives Lernen: Der Unterricht muß so aufgebaut sein und durchgeführt werden, dass fortschreitendes Lernen ermöglicht wird und von den Lernenden erreicht werden kann.

Kompetenzerfahrung: Der Unterricht sollte die Schüler / innen erfahren lassen, dass sie durch ihr Lernen ihr Wissen und Können Stück für Stück erweitern und vertiefen.

Kumulatives Lernen ist in bestimmten Wissensgebieten (die z.B. durch die Schulfächer repräsentiert werden) notwendig, um sich diese Wissensgebiete zu erschließen und auf der Grundlage des gewonnenen Wissens Entscheidungen treffen, handeln oder Probleme lösen zu können.

Die Erfahrung, in einem bestimmten Wissensgebiet zunehmend besser, d.h. zum Beispiel erfolgreicher, geschickter oder überhaupt erst entscheidungs- und handlungsfähig zu werden, ist wiederum eine wichtige Voraussetzung für die Motivation der Schülerinnen und Schüler, neue Lernanforderungen aufzugreifen. Ohne die Erfahrung, dass man über die Schulzeit durch den Unterricht und durch die eigenen Lernanstrengungen vorankommt, mehr weiß und kann, sinkt die Lernbereitschaft im betreffenden Fach.

Sprechen wir im Alltäglichen davon, jemand habe etwas dazugelernt, so meinen wir damit, eine Person verstehe einen Sachverhalt nun besser oder könne Dinge besser als zuvor. Das heißt, dass durch den Lernprozeß ein qualitativ angemesseneres, vertieftes Verständnis eines schon vorher in Umrissen bekannten Sachverhalts erreicht worden ist. Diese Art von Lernen wird auch als kumulatives Lernen bezeichnet. Daneben lernen wir im Alltag auch uns vollkommen Neues, indem wir mit

Dingen in Berührung kommen, die uns zuvor unbekannt waren – ohne in einem spezifischen Sinn "dazuzulernen". Unser Wissensstand wird in solch einem Fall linear und meist randständig additiv erweitert (Baumert et al. 1999).

Unterrichtliches Lernen unterscheidet sich von alltäglichem, eher zufällig ausgelöstem Lernen. Der Schulunterricht versucht, den Aufbau von Wissen (Lernprozesse bei Schülerinnen und Schülern) zielgerichtet anzuregen und zu unterstützen. In optimal verlaufenden Lernprozessen greifen additiver und kumulativer Wissensaufbau ineinander. Die Lernenden werden mit neuen Stoffgebieten vertraut gemacht, mit denen die verfügbare Wissensbasis nicht nur differenziert und erweitert, sondern auch qualitativ in einem vertieften Verständnis neu organisiert wird. So sind also beide Formen des Lernens Teil der von der Lehrkraft angeleiteten systematischen Lernprozesse im Unterricht. Wird eine gut vernetzte Wissensbasis in einem Sachgebiet schrittweise aufgebaut, kann man von erfolgreichen kumulativen Lernprozessen im Unterricht sprechen. Doch bleibt oft vieles, was im Unterricht gelernt wird, unverbunden in den Köpfen der Lernenden. Dies geschieht selbst innerhalb der einzelnen Schulfächer. Neue Elemente werden dem Wissensbestand einfach hinzugefügt, ohne dass ein vertieftes Verständnis des Sachgebiets erreicht wird (s. Abb. 1).

Um den Begriff des kumulativen Lernens detaillierter zu klären und für die Unterrichtsplanung und den Unterrichtsaufbau nutzbar zu machen, ist eine kognitionspsychologische Betrachtung des Begriffs notwendig. Aus der Sicht der aktuellen Kognitionspsychologie wird Lernen als ein aktiver und konstruktiver Prozess des Lernenden aufgefasst. Generatives, produktives und verständnisvolles Lernen ist ein aktiver Prozess, der von der verfügbaren Wissensbasis des einzelnen Schülers und der einzelnen Schülerin abhängt. Aus dieser Perspektive heißt Lernen also mehr als nur - von der Lehrkraft vermittelte – Information passiv aufzunehmen und mechanisch zu verarbeiten. Untersuchungen haben gezeigt, dass derart aufgenommenes Wissen "träge" bleibt und unter veränderten Bedingungen nicht angewendet werden kann (s. hierzu Weinert 1995). Hinzu kommt, dass dieses Wissen kein anschlussfähiges Wissen darstellt; d.h. Wissen, das in nachfolgenden Lernschritten differenziert und erweitert werden kann.

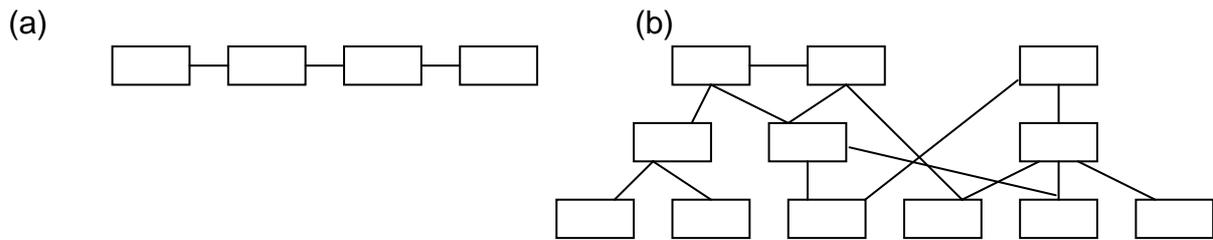


Abb. 1: Veränderung der Wissensstruktur bei (a) additiven und (b) kumulativen Lernprozessen. : Wissens-element; — : Verknüpfung

Aus kognitionspsychologischer Sicht ist die *Struktur* des erworbenen Wissens bedeutsam (Struktur: Wissensbestände und Relationen). Diese kognitive Struktur bildet das geistige Bezugssystem, mit dem eintreffende Informationen verarbeitet und geeignete Handlungsstrategien entworfen werden. Lernen bedeutet nun, dass neue Informationen, neues Wissen in die bereits vorhandene Wissensstruktur des / der Lernenden eingebaut wird. Ist kumulatives Lernen das Ziel des Unterrichts, so muß dieser derart gestaltet sein, dass er eine qualitative Veränderung der Wissensstruktur des Lernenden erreicht. Nimmt das Wissen lediglich quantitativ aber unvernetzt zu, so findet ausschließlich additives Lernen statt.

Die bei erfolgreichem kumulativem Lernen stattfindende Veränderung der Wissensstruktur kann durch zwei Prozesse beschrieben werden: zum einen durch Aufbau- oder Integrationsprozesse und zum anderen durch Differenzierungsprozesse (Aebli 1969). In den meisten Fällen findet beim Lernen eine Mischung dieser beiden Arten von Lernprozessen statt (Messner 1978).

2.1 Aufbau von Wissensstrukturen

Bei dem Aufbau von Handlungsschemata, Operationen und Begriffen werden bereits verfügbare Wissens-elemente zu einer neuen Struktur integriert, indem sie entweder in einer neuen Weise zueinander in Beziehung gesetzt oder zum ersten Mal miteinander verknüpft werden. Die einzelnen Wissens-elemente stammen aus dem bereits vorhandenen Handlungs- und Begriffsrepertoire des/der Lernenden, ebenso wie auch die Art der Verknüpfungen. Die Verknüpfung einzelner Wissens-elemente führt zu neuen Strukturen, die im weiteren Aufbauprozess als Elemente höherer Ordnung fungieren. Aufbauprozesse lassen sich z.B. in Form von Baumdiagrammen darstellen. Diese Darstellungsform veranschaulicht vor allem den hierarchischen

Charakter einer Aufbauleistung: Bekannte Wissens Elemente werden schrittweise zu Einheiten höherer Ordnung und diese zur angestrebten Gesamtstruktur integriert.

FOTOSYNTHESE

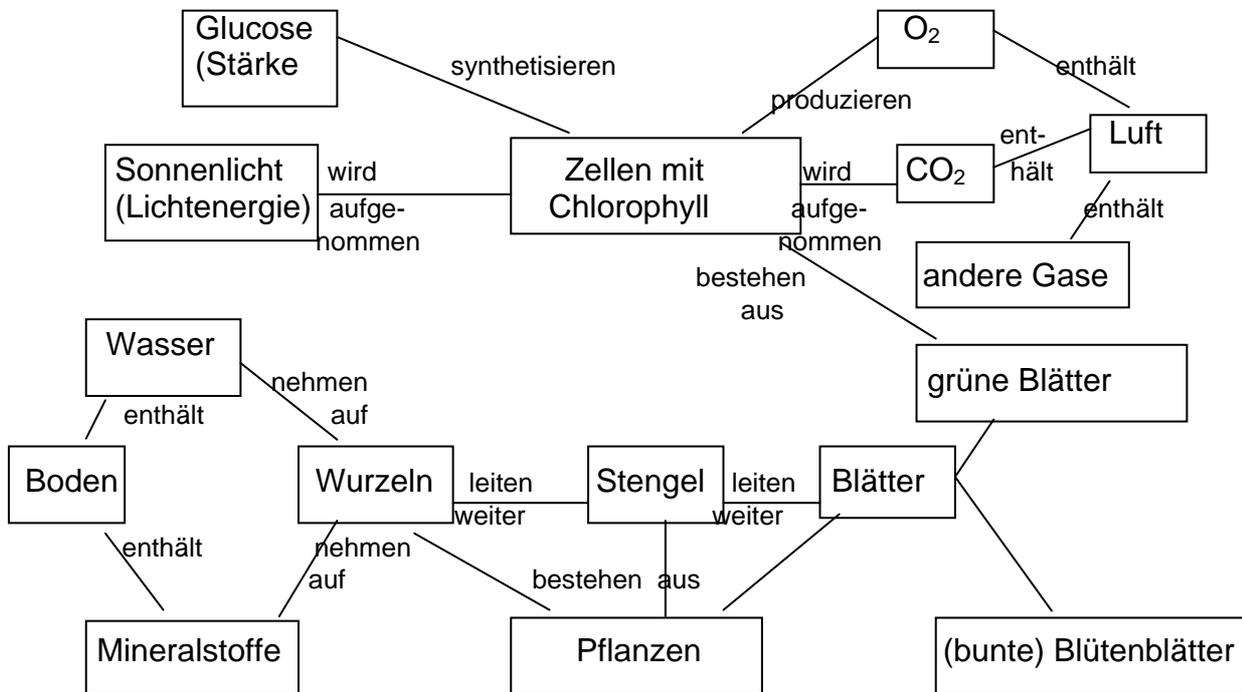


Abb. 2: Aufbauprozesse im Verlauf kumulativen Lernens in der Sekundarstufe I im Biologieunterricht. Beispiel: Lernen des Schlüsselkonzepts "Photosynthese". Der Lernprozess erfolgt von unten nach oben.

Analog dazu lassen sich bei vielen Begriffen, die ein Mensch im Verlaufe seines Lebens erworben hat, untergeordnete Begriffe und Operationen aufweisen, aus denen sich wiederum komplexere Begriffe zusammensetzen. Ein Aufbauprozess besteht also aus einer Folge einzelner Konstruktionsschritte beim Lernenden, die auseinander hervorgehen bzw. sich aufeinander stützen. Dieses "verbindende" Konstruieren von Wissen auszulösen und aufrecht zu erhalten, ist die Aufgabe der Lehrkraft. Das Mittel, mit dem dieser Prozess ausgelöst werden kann, ist wiederum der Unterricht, der demzufolge so angelegt sein und durchgeführt werden sollte, dass derartige Aufbauprozesse bei den Lernenden angeregt werden. Als Ergebnis des schrittweisen Wissensaufbaus entstehen neue Bedeutungsnetze und Handlungsmuster, die in sich geschlossene und sinnvolle Ganzheiten darstellen.

2.2 Differenzierung von Wissensstrukturen

Nicht immer entsteht eine neue Struktur durch die schrittweise Synthese einzelner Elemente der Wissensstruktur. Häufig gehen wir von einer noch globalen Vorstellung des aufzubauenden Begriffs oder der aufzubauenden Operation aus und versuchen umgekehrt, auf dem Wege der Analyse der Elemente und Beziehungen, die ihren Inhalt konstruieren, diesen zu erfassen. Dieser Prozess wird - im Gegensatz zum Aufbau der Wissensstruktur - als Differenzierung bezeichnet.

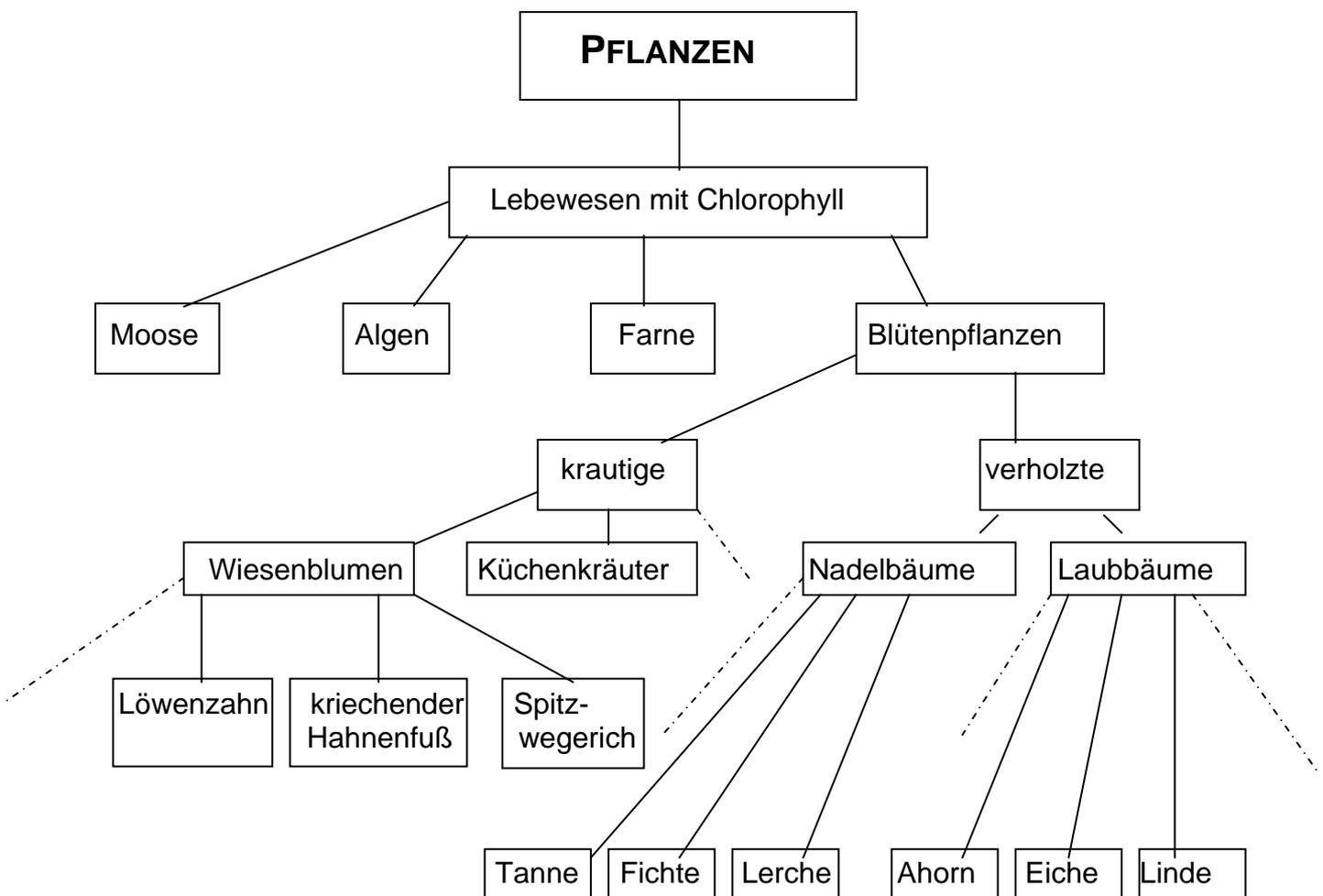


Abb. 3: Differenzierungsprozesse im Verlauf kumulativen Lernens in der Sekundarstufe I im Biologieunterricht. Beispiel: Differenzierung des Begriffs "Pflanzen". Der Lernprozess erfolgt von oben nach unten. ----- Andeutung weiterer möglicher Differenzierungen.

Dieses Vorgehen wird vor allem dann gewählt, wenn wir von einem neu aufzubauenden Begriff, einer Operation oder einem Handlungsschema schon eine globale Vorstellung besitzen, auf die sich der Differenzierungsprozess abstützen kann. Die zunächst noch sehr allgemeine und oberflächliche Kenntnis eines Sachverhalts wird differenziert, indem ihre Elemente hervorgehoben, d.h. artikuliert, und die Beziehungen zwischen diesen Elementen geklärt (strukturiert) werden. Dadurch entsteht ein deutlicheres und klareres Bild des Begriffs oder des Sachverhalts als vorher. Der Begriff oder Sachverhalt gewinnt für den Lernenden bzw. die Lernende so zunehmend an Bedeutung. Insbesondere sind Differenzierungsprozesse notwendig für Begriffe, die den Schülerinnen und Schülern aus ihrer Alltagswelt bereits bekannt sind und die im Unterrichtsverlauf zu wissenschaftlichen Konzepten von ihnen weiterentwickelt werden sollen (s. Abb. 3).

Besonders hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang, dass es nicht ausreicht, einen Begriffsinhalt oder ein Handlungsschema einmalig im Unterricht zu thematisieren und dann davon auszugehen, diese seien nun "gelernt". Um die Stabilität einer neu aufgebauten oder differenzierten Wissensstruktur zu sichern, muss diese konsolidiert werden. Dieses geschieht im Unterricht vor allem durch Anwendungs- und Übungsphasen, in denen aber nicht das Gewicht auf die einzelnen Wissens Elemente gelegt werden darf, sondern in denen die Lernenden zur Bewältigung von Aufgaben und Problemen die eben aufgebaute bzw. differenzierte Wissensstruktur aktivieren und nutzen müssen.

2.3 Die Bedeutung des Vorwissens für kumulatives Lernen

Unterrichtliche Lernprozesse stellen ein Kontinuum dar. Die durch Aufbau- und Differenzierungsprozesse vom Lernenden bzw. von der Lernenden konstruierten hierarchischen Wissensstrukturen nehmen ihren Ausgang von bereits vorhandenem Wissen. Dieses kann differenziert werden in bereits vorhandene Sachkenntnisse, die den im Schulunterricht zu vermittelnden wissenschaftlichen Konzepten entsprechen, und in Präkonzepte, Vorstellungen über Dinge und Sachverhalte, die der Alltagswelt entstammen (Alltagsvorstellungen). Für die Anlage des Unterrichts folgt aus dieser Tatsache die Notwendigkeit, das bei den Schülern zu Beginn eines neuen Lernprozesses (z.B. im Zusammenhang mit dem Beginn einer neuen Unterrichtseinheit oder gar zu Beginn einer Unterrichtsstunde) bereits vorhandene Wissen zum Ausgangspunkt des Lernprozesses zu machen.

In verschiedenen Untersuchungen wurde die große Bedeutung des Vorwissens für erfolgreiche Lernprozesse nachgewiesen. In diesem Zusammenhang wird unter dem

Begriff "Vorwissen" nicht nur eine bestimmte Menge von Kenntnissen z.B. in einem bestimmten Schulfach verstanden, sondern hiermit ist besonders die Qualität der gespeicherten Informationen, das heißt deren Organisationsniveau (ungeordnetes Faktenwissen, um lebenspraktische Themen herum gruppierte pragmatische Informationen oder konzeptuell und hierarchisch strukturiertes Wissen), die Leichtigkeit, mit der auf das Wissen in unterschiedlichen Situationen zurückgegriffen werden kann (träge-verlötet oder flexibel transferierbar) und das Niveau der Operationen, das mit den gelernten Operationen realisiert werden kann (konventionell, intelligent oder kreativ) gemeint (Weinert 1995). Besonders durch die Experten-Novizen-Forschung konnte die große Bedeutung des intelligent geordneten, vernetzten inhaltspezifischen (Vor-) Wissens gezeigt werden. Vergleicht man nämlich Menschen mit ähnlicher Intelligenz, aber unterschiedlichem Wissensstand bei der Bearbeitung schwieriger Lern-, Gedächtnis- und Problemlöseaufgaben aus einem bestimmten Inhaltsgebiet, so übertreffen diejenigen, die über das bessere inhaltliche Wissen verfügen (die Experten) die Novizen in allen Fällen (Ericsson & Crutcher 1990). Diese Überlegenheit ist allerdings auf die Wissensbereiche beschränkt, für die das Spezialwissen der Experten jeweils verfügbar ist.

Erst in den 60er Jahren wurde durch die Arbeiten von Gagné die Bedeutung des Vorwissens und des strukturellen Aufbaus der zu lernenden Inhalte und einer Hierarchie der dafür notwendigen Lernformen in den Vordergrund des wissenschaftlichen Interesses gerückt. Gagné ging davon aus, dass der Erwerb komplexer Kenntnisse und das Verstehen inhaltlich schwieriger Zusammenhänge abhängt von der Verfügbarkeit des relevanten Vorwissens bei der bzw. dem Lernenden. Für alle Lernaufgaben aller Schwierigkeitsebenen muss deshalb bei der Unterrichtsplanung die Frage gestellt werden, welche unmittelbaren Vorwissenskomponenten (Begriffe, Operationen etc.) vorhanden sein müssen, um eine Aufgabe überhaupt zu begreifen, eine neue Information sinnvoll zu verarbeiten und ein Problem erfolgreich zu lösen. Für jede der identifizierten Wissenskomponenten läßt sich die gleiche Frage wiederholen, so dass man schließlich für alle Wissensselemente zu einer Hierarchie aufeinander aufbauender Kenntnisebenen gelangt.

Dieses Lernmodell Gagnés ist zugleich ein Instruktionsmodell zur schrittweisen Sequenzierung und zur inhaltlichen Ordnung des zu lernenden Wissens, das auf verschiedenen Wegen – z.B. von unten nach oben in Form eines Aufbauprozesses (s.o.) – durchlaufen werden kann (nach Weinert 1995). Der explizite Bezug auf das Vorwissen der Schüler / -innen ist in zweierlei Hinsicht für kumulative Lernprozesse von Bedeutung: Zum einen wird durch die Reaktivierung und die Artikulation der

notwendigen Vorwissenskomponenten dieses zu Beginn einer Lerneinheit (z.B. einer Unterrichtseinheit oder –stunde) für neue aufbauende oder differenzierende Verknüpfungen mit neuen Wissens-elementen bereitgestellt. Zum anderen ist die Betonung des Vorwissens für das Lernen auch aus motivationalen Gründen für die Schülerinnen und Schüler wichtig; denn indem deutlich gemacht wird, in welchem Zusammenhang vorher Gelerntes mit dem neu zu Lernenden steht, indem für die transparent wird, dass vorher Gelerntes für den weiteren Erkenntnisgewinn und die Weiterentwicklung ihrer Handlungsfähigkeit (z.B. bei der Durchführung von Experimenten) und bei der selbständigen Lösung von Problemen unabdingbar ist, wird die motivationale Grundlage für das weitere Lernen geschaffen. Nur so können die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass vorangegangene Lernanstrengungen sich gelohnt haben.

3 Metakognition

3.1 Der Begriff

Metakognition bezeichnet das Wissen und die Kontrolle über das eigene kognitive System. Nach Pozo (1999) lassen sich drei Aspekte von Metakognition unterscheiden:

- **Sensitivität:** das Gespür dafür, dass eine spezifische Lernsituation bestimmte strategische Aktivitäten erfordert;
- **Wissen:** das Wissen über das eigene kognitive System (Selbsteinschätzung) und das Wissen über verfügbare Aufgaben und Lernstrategien (Aufgaben- und Strategiewissen);
- **Kontrolle über das eigene kognitive System:** die Fähigkeit der aktiven Regulation des Lernprozesses und der eingesetzten Lernstrategien (Analyse-, Planungs-, Überwachungs-, Bewertungsprozesse).

Durch metakognitive Prozesse kann den Schülerinnen und Schülern bewusst gemacht werden, auf welche Art und Weise sie neue Informationen mit dem ihnen vor dem Lernprozess bereits verfügbaren Vorwissen vernetzt haben; Widersprüche und mangelnde Kohärenz des von ihnen konstruierten Wissens (aber auch aus fachwissenschaftlicher Perspektive falsche Vorstellungen einschließlich falscher Verknüpfungen einzelner Wissens-elemente) können so bewusst gemacht werden.

Dieses „bewusst Machen“ ist die Voraussetzung für eine kontrollierte Revision sowie für eine weitere Ausdifferenzierung und Strukturierung des eigenen Wissens in dem konkreten Wissensbereich. Darüber hinaus können metakognitive Prozesse die Schülerinnen und Schüler anregen, über den Unterschied zwischen alltäglichem und wissenschaftlichem Wissen zu reflektieren, so dass sie beide Arten von Wissen zu verknüpfen beginnen und sie als verschiedene Komplexitätsebenen zum Beispiel eines Problems verstehen können.

Die Anwendung des Gelernten beim Lösen neuer Probleme ist nur möglich, wenn das vermittelte Wissen nicht nur „angelernt“, sondern von den Schülern wirklich verstanden ist. Das bedeutet, dass bei den Schülern ein Konzeptwechselprozess von den unreflektierten Alltagsvorstellungen hin zu fachlich begründeten Vorstellungen statt finden muss. Ein Konzeptwechselprozess führt zur Revision der kognitiven Struktur im Sinne veränderter und neuer Vernetzungen von Wissensselementen innerhalb der kognitiven Struktur.

3.2 Metakognitionsfördernde Strategien

Von den in der Literatur beschriebenen metakognitionsfördernden Strategien (Campanario, 2000; White & Gunstone, 1992), die metakognitive Denkprozesse befördern sollen, wurden für die in Kapitel 5 beschriebene Unterrichtseinheit drei ausgewählt:

- der Einsatz von „Concept Maps“ („Begriffsnetzen“),
- die „Predict – Observe – Explain“ - Methode
(Methode des „Voraussagens – Beobachtens – Erklärens“),
- der Einsatz sog. „Kurzer Fragen“.

Das „Concept Mapping“ ist eine Methode, mit der Wissensstrukturen der Lernenden in Form eines grafischen Netzwerkes aus einzelnen Begriffen und Verknüpfungen („Relationen“) abgebildet werden. Concept Maps machen das Wissen „sichtbar“, wobei eventuell auch Widersprüche zwischen isolierten „Einzelkenntnissen“ deutlich werden. In Abbildung 2 ist beispielhaft ein Concept Map zum Begriff „Fotosynthese“ abgebildet.

Bei der „Predict – Observe – Explain“ – Methode (POE) wird den Schülerinnen und Schülern zunächst ein Experiment vorgestellt. Bevor das Experiment durchgeführt

wird, sollen sie auf der Basis ihres Vorwissens das Ergebnis vorhersagen und erklären („*predict*“). Dann wird das Experiment durchgeführt („*observe*“) und das Ergebnis mit der Vorhersage der Schüler verglichen. Dabei müssen die Schüler mögliche Unterschiede zwischen dem, was sie vorhergesagt haben, und dem Ergebnis des Experimentes erklären („*explain*“).

Beim Einsatz der sog. „Kurzen Fragen“ handelt es sich um die schriftliche Beantwortung von kurzen Fragen, die den Schülerinnen und Schülern in Form eines Fragebogens zur schriftlichen Bearbeitung gegeben werden. Die regelmäßige Nutzung dieser Strategie gibt den Schülern die Möglichkeit, kontinuierlich ihren „Wissensstand“ zu überwachen sowie mögliche Fehler erkennbar zu machen (Campanario, 2000). In unserer Unterrichtseinheit wird diese Methode regelmäßig angewendet. Die Schüler beantworten am Beginn der Unterrichtsstunde eine kurze Frage, und sie haben am Ende der gleichen Unterrichtsstunde, bzw. nach der Erarbeitungsphase des entsprechenden Unterrichtsinhalts, die Möglichkeit, die gleiche Frage wieder zu beantworten. So wird jeder Lerner unmittelbar nach dem Lernprozess mit seinem vor-unterrichtlichen Wissen und dem aktuellen, nach dem Unterricht vorhandenen Wissen konfrontiert. Durch diese Vorgehensweise wird die Veränderung ihres Wissens den Schülerinnen und Schülern direkt sichtbar gemacht. Mögliche Konzeptwechsel, die während der Unterrichtsstunde statt gefunden haben, werden so deutlich und den Schülerinnen und Schülern bewusst gemacht.

4 Begründung der Auswahl des Themas „Zelle“

Verschiedene biologiedidaktische Untersuchungen haben gezeigt, dass Schülervorstellungen zum Thema „Zelle“ häufig weit vom entsprechenden wissenschaftlichen Konzept entfernt sind. Begriffe wie somatische und generative Zelle, Mitose, Meiose und Befruchtung erscheinen ebenso unklar wie der Aufbau der Bakterienzelle und deren systematische Stellung (u.a. Bayrhuber et al. 1997, Frerichs 1999, Lewis 2000a, 2000). Eine Vernetzung des Wissens über die verschiedenen Zellstrukturen mit deren lebensnotwendigen Funktionen findet bei Schülerinnen und Schülern kaum statt. Da die „Zelle“ aber eines der Basiskonzepte der Biologie ist, das die Grundlage für das Verständnis verschiedenster biologischer (z.B. physiologischer) aber auch lebensweltlicher (z.B. Gesundheitsfürsorge) und

technologischer (z.B. biotechnischer) Themenbereiche darstellt, ist ein kumulativer Lernprozess bei Schülerinnen und Schülern hin zur wissenschaftlichen Vorstellung der „Zelle“ grundlegend für das Verstehen der gesamten Biologie. Offenbar gelingt es durch den derzeitigen Biologieunterricht zum Begriff „Zelle“ kaum, ein derart vernetztes Wissen (z.B. eine Vernetzung in Hinblick auf die Verbindung von Struktur und Funktion) zu fördern. Hewson & Hennesey (1992) sowie Beeth (1998) konnten zeigen, dass gerade bei sehr abstrakten Konzepten die ständige Überwachung des Lernprozesses durch metakognitionsfördernde Strategien sich positiv auf den Lernprozess der Schüler auswirkt.

5 Einsatz metakognitionsfördernder Strategien im Biologieunterricht zum Thema „Zelle“

Die von uns entwickelte Unterrichtseinheit für die Sekundarstufe I zum Thema „Zelle“ besteht aus 7 Doppelstunden. Die Themen der einzelnen Doppelstunden zeigt Tabelle 1.

Doppel-Unterrichts-Stunde (90 Min.)	Unterrichtsthema
1	Merkmale von Lebewesen
2	Die Zelltheorie I: „Alle Lebewesen bestehen aus Zellen.“ Geschichte der „Zellentdeckung“
3	Diffusion und Osmose, Zellmembran, Zellwand
4	Ernährung als Merkmal von Lebewesen Synthese von Stärke, Chloroplasten
5	Atmung als Merkmal von Lebewesen Energie und Stoffaustausch der Zelle mit der Umgebung
6	Wachstum u. Vermehrung als Merkmal von Lebewesen Die Zelltheorie II: „Zellen entstehen nur aus Zellen.“
7	Zusammenfassung: „Die Zelle als kleinste Einheit des Lebens, als der Ort, an dem „alle“ biochemischen Prozesse statt finden.“ (Zelltheorie III) Einzellige u. mehrzellige Organismen

Tab. 1: Themen der aus 7 Doppelstunden bestehenden Unterrichtseinheit

Alle Doppelstunden besaßen die gleiche Grundstruktur und eine einheitliche Abfolge des Einsatzes der metakognitionsfördernden Strategien und der jeweiligen Sozialform. Eine Übersicht dieser Grundstruktur zeigt Tabelle 2. Die Abkürzung POE steht für die Methode des „Predict – Observe – Explain“.

Unterrichtsphase	Unterrichtsschritt	Sozialform	Metakognitiver Aspekt
Schüler beantworten <i>Kurze Frage</i>	Wiederholung	Einzelarbeit	<i>Wissen</i> : Selbst-einschätzung
Lehrer stellt eine <i>Unterrichtsfrage (UF)</i> vor	Einstieg	Einzelarbeit	-----
Erarbeitungs-Phase 1	Erarbeitung	Gruppenarbeit	<i>Kontrolle</i>
Erarbeitungs-Phase 2 (evtl. mit Durchführung eines Experimentes, POE)	Erarbeitung	Gruppenarbeit	<i>Kontrolle</i>
Erarbeitungs-Phase 2 (evtl. mit Durchführung eines Experimentes, POE)	Erarbeitung	Gruppenarbeit	<i>Kontrolle</i>
Schüler erstellen ein <i>Concept Map</i> der Unterrichtsstunde	Sicherung / Transfer	Einzelarbeit	<i>Wissen</i> : Selbst-einschätzung Aufgabe- u. Strategiewissen Durch den Vergleich mit dem vorherigen <i>Concept Map</i> : <i>Kontrolle</i> über den Lernprozess
Erneute Beantwortung der Kurzen Frage	Transfer Wiederholung	Einzelarbeit	<i>Kontrolle</i> über den Lernprozess

Tab. 2: Grundstruktur jeder einzelnen Doppelstunde

Das Concept Map der vorausgegangenen Doppelstunde erhalten die Schülerinnen und Schüler in jeder Doppelstunde zurück, damit es von Doppelstunde zu Doppelstunde um neue Wissens Elemente und neue Verknüpfungen ergänzt werden kann. Darüber hinaus haben die Schülerinnen und Schüler immer die Möglichkeit Verknüpfungen zu entfernen, die ihnen auf Grund des Wissenszuwachses als falsch erscheinen.

Der ersten Doppelstunde geht eine Unterrichtsstunde voraus, in der das Erstellen von Concept Maps eingeübt wird. Die Concept Maps werden auf großen leeren „Postern“ mit selbstklebenden Begriffskarten hergestellt, die bei jeder Überarbeitung neu angeordnet werden können. Die Verbindungen (Relationen) zwischen den Begriffen werden von den Schülerinnen und Schülern mit Bleistiften eingetragen, damit sie revidiert werden können. Die Begriffe werden jeweils vorgegeben. Eine Übersicht zeigt Tabelle 3.

Zwischen der ersten und zweiten Doppelstunde der Unterrichtseinheit liegen 2-3 Wochen, da in der ersten Doppelstunde ein Langzeitversuch angesetzt wird, dessen Ergebnisse Grundlage der weiteren Unterrichtseinheit darstellen.

Doppel-Unterrichts-Stunde (90 Min.)	Unterrichtsthema	Begriffe für die Concept Maps
1	Merkmale von Lebewesen	Lebewesen Ernährung Atmung Reizbarkeit Bewegung Vermehrung Wachstum
2	Die Zelltheorie I: „Alle Lebewesen bestehen aus Zellen.“ Geschichte der „Zellentdeckung“	Zelle Mikroskop Lupe Gewebe
3	Diffusion und Osmose, Zellmembran, Zellwand	Zellwand Zellmembran Vakuole Osmose Diffusion Plasmolyse
4	Ernährung als Merkmal von Lebewesen Synthese von Stärke, Chloroplasten	Stärke Energie Licht Chloroplast
5	Atmung als Merkmal von Lebewesen Energie und Stoffaustausch der Zelle mit der Umgebung	Sauerstoff Kohlenstoff Mitochondrium
6	Wachstum u. Vermehrung als Merkmal von Lebewesen Die Zelltheorie II: „Zellen entstehen nur aus Zellen.“	Zellkern genetische Information DNA
7	Zusammenfassung: „Die Zelle als kleinste Einheit des Lebens, als der Ort, an dem „alle“ biochemischen Prozesse stattfinden.“ (Zelltheorie III) Einzellige u. mehrzellige Organismen	einzellige- u. mehrzellige Organismen

Tabelle 3: Übersicht über die Begriffe der Concept Maps

Im Folgenden werden die einzelnen Doppelstunden im Detail beschrieben.

1. Doppelstunde / Unterrichtsthema:

Merkmale von Lebewesen

Als Einführung in die Unterrichtsstunde wird von der Lehrkraft eine Zimmerpflanze gezeigt und die Frage gestellt: „Ist diese Pflanze ein Lebewesen – und wenn ja, warum?“ (Kurze Frage). Zur Beantwortung der Frage wird den Schülerinnen und Schülern ein Fragebogen ausgeteilt, auf dem diese im Verlauf der gesamten Unterrichtseinheit die Kurzen Fragen kontinuierlich beantworten werden. Die Schülerinnen und Schüler beantworten die Frage schriftlich auf dem Fragebogen.

Im Anschluss an diese Einführung erfolgt der Einstieg in das eigentliche Unterrichtsthema. Die Lehrkraft demonstriert verschiedene Lebewesen und andere Objekte (z.B. eine Zimmerpflanze, einen Regenwurm, Bohnensamen, Wasserpest, eine brennende Kerze) und schreibt die folgende Frage an die Tafel: „Sind diese Objekte lebendig? Wenn ja, warum?“. Es folgt die Handlungsanweisung: „Ordnet die Objekte in folgende Kategorien ein: lebendig, nicht lebendig oder „unklar“. Schülerinnen und Schüler übernehmen die Frage in ihr Heft. Die Objekte werden auf den Tischen verteilt und in Gruppenarbeit geordnet. Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten auf Grund ihres Vorwissens gemeinsam Begründungen für ihre jeweilige Zuordnung und erstellen daraus eine tabellarische Übersicht über die Merkmale der Lebewesen. Dabei sollen folgende Begriffe herausgearbeitet werden: Ernährung, Atmung, Reizbarkeit, Bewegung, Vermehrung, Wachstum. Im Frontalunterricht werden die Gruppenergebnisse zusammengetragen. Anschließend erstellen die Schülerinnen und Schüler ihr Concept Map. Es wird von der Lehrkraft betont, dass es das richtige Concept Map nicht gebe. Unbeschriebene „Poster“ sowie selbstklebende „Begriffskärtchen“ zur Erstellung der Concept Maps werden verteilt.

Die Schülerinnen und Schüler erhalten den Fragebogen aus der Einführungsphase der Stunde und beantworten erneut die Frage: „Ist diese Pflanze (Zimmerpflanze) ein Lebewesen – und wenn ja, warum?“.

Im nächsten Unterrichtsschritt geht es um die Frage, wie nachgewiesen werden kann, ob ein Bohnensamen ein Lebewesen sei oder nicht (Frontalunterricht; Lehrkraft demonstriert Bohnensamen). Die Schülerinnen und Schüler übernehmen die Frage in ihr Heft. Es wird herausgearbeitet, dass zur Klärung dieser Frage ein

Versuch notwendig ist. Unter der Fragestellung „Was benötigt eine Bohne, damit sie keimen kann?“ (Wasser, Licht, Luft, Erde) wird im Folgenden in Gruppenarbeit ein Versuch angesetzt. Die Lehrkraft verteilt alle Materialien (Bohnsamen, Petrischalen, Erde, Alufolie, Papier) zum Ansetzen des Versuchs. Die Schülerinnen und Schüler überlegen, wie der Versuch anzulegen ist und setzen den Keimungsversuch unter verschiedenen Bedingungen an.

2. Doppelstunde / Unterrichtsthema:

Die Zelltheorie I: „Alle Lebewesen bestehen aus Zellen.“

Geschichte der „Zellentdeckung“

Die Schülerinnen und Schüler erhalten zunächst die Versuchsansätze des Keimungsversuchs zurück und protokollieren die Ergebnisse. Anschließend zeigt die Lehrkraft den „Keimungsversuch“ einer von ihr „gesäten“ Schokoladenbohne und stellt fest, dass unter günstigsten Bedingungen diese nicht ausgekeimt ist. Es folgt die „Kurze Frage“ dieser Stunde, die jede Schülerin und jeder Schüler wiederum auf dem ausgeteilten Fragebogen beantwortet: „Warum kann aus einer Bohne etwas wachsen? Warum kann aus einer Bohne aus Schokolade nichts wachsen?“. Als Einstieg in die Stunde schreibt nun die Lehrkraft die leitende Frage der Stunde an die Tafel: „Welche Struktur haben Mensch, Pflanzen und Tiere gemeinsam?“. Schülerinnen und Schüler übernehmen die Frage in ihr Heft. In der Erarbeitungsphase 1 arbeiten die Lerner in Gruppen. Der Lehrer bzw. die Lehrerin verteilt Objektträger mit verschiedenen Präparaten (Zwiebelhaut, Bohnenwurzel, Mundschleimhaut und Wasserpest) darüber hinaus erhalten die Gruppen Bildserien von lichtmikroskopischen Aufnahmen von Korkgewebe, der Leber, der Wasserpest und der Mundschleimhaut. Mit dem bloßen Auge, der Lupe und mit Hilfe des Lichtmikroskops untersuchen die Schülerinnen und Schüler ihre Objekte, wobei die Abbildungen zur Beantwortung der Frage zu Hilfe genommen werden können. Die Ergebnisse werden von jeder Gruppe protokolliert. In der Erarbeitungsphase 2 werden im Frontalunterricht die Ergebnisse zusammengetragen. Vom Lehrer bzw. von der Lehrerin werden die Begriffe „Zelle“ und „Gewebe“ eingeführt. Das Ergebnis

der Untersuchungen wird an der Tafel festgehalten: „Alle Lebewesen bestehen aus Zellen.“

In einem Lehrervortrag wird die Geschichte der Entdeckung der Zelle erzählt, wobei auch auf die technischen Voraussetzungen dieser Entdeckung eingegangen wird. Im Anschluss erstellen die Schülerinnen und Schüler wieder wie in der ersten Doppelstunde ihr Concept Map auf der Grundlage des Concept Maps der vorausgegangenen Stunde.

Abschließend erhält jede Schülerin und jeder Schüler ihren /seinen Fragebogen zur Beantwortung der „Kurzen Frage“ zurück.

3. Doppelstunde / Unterrichtsthema:

Diffusion und Osmose; Zellmembran, Zellwand

Zur Einführung in die Stunde präsentiert die Lehrkraft den Schülerinnen und Schülern geplatze Kirschen. Diese beantworten in diesem Zusammenhang die folgende „Kurze Frage“: „Diese reifen Kirschen lagen 2 Stunden lang im Wasser. Warum sind sie geplatzt?“. Als Unterrichtseinstieg verteilt die Lehrkraft an die Schülerinnen und Schüler welkende Pflanzen (Zimmerpflanzen) und notiert die Unterrichtsfrage an der Tafel: „Warum sind diese Pflanzen verwelkt?“. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen die Pflanzen und schreiben Vermutungen zur Beantwortung der Frage auf. In der ersten Erarbeitungsphase führen die Schülerinnen und Schüler nun einen einfachen Diffusionsversuch mit Tinte durch (nach dem Prinzip der POE-Methode). Sie beschreiben ihre Beobachtungen (Konzentrationsausgleich); die Lehrkraft führt den Begriff „Diffusion“ ein. In der zweiten Erarbeitungsphase wird ebenfalls nach der POE-Methode ein Osmoseversuch (Hühnerei in verschiedenen Medien) durchgeführt. Anschließend werden die Osmose sowie die Phänomene Plasmolyse und Deplasmolyse auf zellulärer Ebene von den Schülerinnen und Schülern beobachtet (z.B. an Zwiebelhautzellen roter Zwiebeln) und im Unterrichtsgespräch anschließend erläutert. Die Begriffe Osmose, Plasmolyse, Zellwand und Zellmembran werden eingeführt. Die Schülerinnen und Schüler beantworten die Unterrichtsfrage.

Im Anschluß daran erhalten die Schülerinnen und Schüler die Concept Maps der vorangegangenen Stunde zurück und arbeiten es mit den hinzugekommenen Begriffen aus bzw. revidieren auf Grund neuer Erkenntnisse ihr Begriffsnetz der vorangegangenen Stunde. Abschließend beantworten sie die „Kurze Frage“ vom Stundenbeginn erneut auf ihrem Fragebogen.

4. Doppelstunde / Unterrichtsthema:

Ernährung als Merkmal von Lebewesen

Einführend erhalten die Schülerinnen und Schüler ihre Versuchsansätze zur Beobachtung und Protokollierung zurück. Es wird festgestellt, dass die Bohnen mit dem Wachsen der Bohnenpflanzen kleiner werden. Die „Kurze Frage“, die die Schülerinnen und Schüler wiederum schriftlich beantworten, lautet. „Warum ist die gekeimte Bohne kleiner geworden?“.

Zu Beginn der folgenden Erarbeitungsphase 1 erläutert die Lehrkraft, dass Ernährung ein Merkmal der Lebewesen darstellt. Die Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert zu nennen, was sie morgens gefrühstückt haben. Die Lehrkraft hält die genannten Lebensmittel an der Tafel fest. Verschiedene Lebensmittel (einschließlich Bohnen) und Lugolsche Lösung werden ausgeteilt. Die Lehrkraft erläutert, dass mit der Lösung Stärke in den Lebensmitteln nachgewiesen werden kann. Daraufhin untersuchen die Schülerinnen und Schüler die verfügbaren Lebensmittel auf die Anwesenheit von Stärke und stellen fest, dass nur pflanzliche Lebensmittel Stärke enthalten. Hieraus ergibt sich die erste Unterrichtsfrage der Stunde: „Woher bekommt die Pflanze ihre Stärke?“. Die Schülerinnen und Schüler führen in Gruppenarbeit den Stärkenachweis in Buntnesselblättern durch (POE-Methode). Auf Grund des Ergebnisses beantworten sie die Unterrichtsfrage: „Stärkebildung findet offenbar nur dort statt, wo das Blatt grün ist.“ In der folgenden Erarbeitungsphase 2 wird in einem lehrergelenkten Unterrichtsgespräch herausgearbeitet, dass die Pflanze den grünen „Farbstoff“ und Licht benötigt, um Stärke aufzubauen. Es schließt sich die zweite Unterrichtsfrage an: „Wo in den Blättern befindet sich ‚das Grüne‘?“ In einem Lehrervortrag mit mikroskopischen Aufnahmen von grünen Pflanzenzelle wird die Antwort auf diese Frage

herausgearbeitet und der Begriff „Chloroplast“ eingeführt.

Am Ende der Stunde bekommen die Schülerinnen und Schüler erneut ihr Concept Map zur Überarbeitung und beantworten abschließend die „Kurze Frage“ vom Beginn der Stunde erneut auf ihrem Fragebogen („Die wachsende Bohnenpflanze „ernährt sich“ von der Stärke im Bohnensamen. Deshalb wird der Bohnensamen kleiner“).

5. Doppelstunde / Unterrichtsthema:

Atmung als Merkmal von Lebewesen

Energie und Stoffaustausch der Zelle mit der Umgebung

Vorab erhält jede Schülerin und jeder Schüler ein Laubblatt einer Maispflanze und einen Stempel. Jedes Blatt wird an zwei bis drei Stellen gestempelt.

Die Stunde beginnt dann erneut mit der Betrachtung und Protokollierung der Keimungsversuche. Es wird festgehalten, dass die Bohnenpflanze, die kein Licht bekommen hat, gelb geworden ist. Der Bohnensamen, der unter Luftabschluss gehalten wurde, ist nicht ausgekeimt.

Die „Kurze Frage“, die die Schüler im Anschluss beantworten, lautet: „Warum ist der Bohnensamen unter Luftabschluss nicht ausgekeimt?“ Die Lehrkraft erläutert, dass Atmung ein Merkmal von Lebewesen darstellt. Ein Schüler oder eine Schülerin wird gebeten, nach vorne zu kommen und 10 Mal zu springen. Die Schülerinnen und Schüler stellen fest, dass die Versuchsperson anschließend schneller atmet. Aus dieser Beobachtung wird die Unterrichtsfrage herausgearbeitet: „Warum atmen wir schneller, wenn wir uns bewegen?“

In der folgenden Erarbeitungsphase wird in Gruppenarbeit an Hand von Arbeitsblättern (z.B. Darstellung von Versuchen zur Atmung beim Mensch, zur Atmung bei Bohnen; Darstellung des Priestley Versuchs) herausgearbeitet, dass Atmung mit Energieverbrauch zusammen hängt; dass CO₂ als Verbrennungsprodukt entsteht; dass auch eine Kerze Luft benötigt, um zu brennen, dass offenbar Verbrennung (Energieverbrauch) mit dem Verbrauch von „Luft“ zusammenhängt. Mit den erarbeiteten Ergebnissen wird der Zusammenhang von Atmung, Energie und Ernährung von den Schülerinnen und Schülern herausgearbeitet.

In der zweiten Erarbeitungsphase der Stunde geht es um die Frage, wo denn die Atmung nun in der Zelle stattfindet. In Form eines Lehrervortrags mit mikroskopischen Bildern tierischer, pflanzlicher Zellen und mit Zellen vom Menschen wird die Antwort auf diese Frage herausgearbeitet.

Abschließend überarbeiten die Schülerinnen und Schüler erneut ihr Concept Map und erweitern es um die in Tabelle 3 angegebenen Begriffe. Danach beantworten sie die „Kurze Frage“ vom Beginn der Stunde.

6. Doppelstunde / Unterrichtsthema:

Wachstum u. Vermehrung als Merkmal von Lebewesen

„ Zellen entstehen nur aus Zellen.“

Die Stunde beginnt mit der kurzen Frage: Warum sehen eineiige Zwillinge identisch aus?

Die Schülerinnen und Schüler erhalten ihre Maisblätter zurück sowie weitere Maisblätter, die an der Maispflanze vor einiger Zeit gestempelt wurden. Im Unterrichtsgespräch wird herausgearbeitet, dass der Unterschied des Stempelbildes daran liegen muss, dass die eingegebenen Maisblätter, die an der Pflanze gestempelt wurden, gewachsen sind. Hieraus ergibt sich die Unterrichtsfrage: „Wie ist das Blatt gewachsen?“. In der Erarbeitungsphase wird in Gruppenarbeit herausgearbeitet, dass Pflanzen wachsen (Protokoll zum Keimungsversuch). Die Schülerinnen und Schüler wissen, dass alle Pflanzen aus Zellen bestehen. Im Unterrichtsgespräch wird geklärt, dass Wachstum durch die Vermehrung von Zellen (Zellteilung) erfolgt. Im Lehrervortrag wird erläutert, dass alle Zellen aus Zellen stammen.

Als Ausgangspunkt für die Erarbeitungsphase 2 wird die Frage gestellt, woher denn die Zelle „weiß“, welche Aufgaben sie – z.B. in einem Maisblatt – hat. In Gruppenarbeit wird durch Analogisierung von vorgegebenen Begriffen (z.B. Rezept zum Brotbacken / Information / DNA; Brot / Maiszelle; Rezeptbuch / Zellkern) herausgearbeitet, dass Zellen offenbar Informationen tragen, mit deren Hilfe sie neue Zellen „bauen“ können. Diese Information steckt in der DNA im Zellkern.

Abschließend wird wiederum das Concept Map überarbeitet und die „Kurze Frage“ vom Stundenbeginn beantwortet.

7. Doppelstunde / Unterrichtsthema:

Zusammenfassung: „Die Zelle als kleinste Einheit des Lebens.“
Einzellige u. mehrzellige Organismen

In der letzten Doppelstunde der Unterrichtseinheit werden ausgewählte Concept Maps vergleichend besprochen und korrigiert. Anschließend werden von der Lehrkraft Anwendungsaufgaben gestellt, die mit Hilfe der Concept Maps beantwortet werden können (z.B. Warum welkt das Salatblatt, wenn der Salat mit Salz angemacht wurde? Warum verdurste ich, wenn ich Meerwasser trinke).

Die Daten der formativen und summativen Evaluation der beschriebenen Unterrichtseinheit werden zur Zeit ausgewertet. Sie werden auf der Tagung der Sektion Biologiedidaktik des Verbandes Deutscher Biologen im Herbst 2003 vorgestellt und diskutiert.

6 Literatur

- Aebli, H. (1969). Über den Aufbau kognitiver Strukturen. In: Bericht über den 26. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie. Hogrefe Verlag, Göttingen, S. 160.
- Baumert, J., Bos, W., Watermann, R. (1999). TIMSS/III Schülerleistungen in Mathematik und den Naturwissenschaften am Ende der Sekundarstufe II im internationalen Vergleich. Studien und Berichte. Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Bd. 64, Berlin.
- Bayrhuber, H. Harms, U. Man in` t Veld, M, Stolte, S. (1997) Student´s preconceptions of bacteria and the consequences for teaching. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association of Science Treaching (NARST), Chicago, 1997.
- Bayrhuber, H., U. Gebhard, K.-H. Gehlhaar, D. Graf, H. Gropengießer, U. Harms, U. Kattmann, R. Klee, J.C. Schletter (Hrsg.) (1997). Biologieunterricht und Lebenswirklichkeit. 10. Internationale Fachtagung der Sektion Fachdidaktik im VDBiol vom 18. bis 22. 1995 in Weilburg. IPN Bd.166, Kiel.
- Beeth, M. E. (1998). Teaching for Conceptual Change: Using Status as a Metacognitive Tool. Science Education, 82 (3): 343-356.

- Blank, H., Eck, R., Kufner, R., Layritz, W. (2001). In PdN – BioS 7/50. S. 15-20.
- Campanario, J.M. (2000). El desarrollo de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias: estrategias para el profesor y actividades orientadas al alumno. *Enseñanza de las Ciencias* 18 (3): 369-380.
- Ericsson, K.A. Crutcher, R.J. (1990). The nature of exceptional performance. In: Baltes, D.L. et al. (Hrsg.): *Life-span development and behaviour*, Vol. 10, Hillsdale, NJ: Erlbaum, pp. 187-217.
- Frerichs, V. (1999). *Schülervorstellungen und wissenschaftliche Vorstellungen zu den Strukturen und Prozessen der Vererbung - ein Beitrag zur Didaktischen Rekonstruktion. Dissertation. Didaktisches Zentrum (DiZ) Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.*
- Gonzalez-Weil, C., Killermann, W., Harms, U. (2001): Effekte eines metakognitiven Unterrichtsverfahrens auf Konzeptwechselprozesse der Schüler zum Thema „Zelle“ – eine Untersuchung in der 9. Klassenstufe an chilenischen Schulen. In: Bayrhuber, H. et al. (Hrsg.): *Biowissenschaften in Schule und Öffentlichkeit*. IPN / vdbiol, Kiel, S. 217-220
- Gonzalez-Weil, C., Harms, U. (2002): Metacognitive strategies as a tool for better understanding the concepts “cell” and “living being” – a field study in 9th chilean school classes. In: Bandura, M. et al. (Eds.): *IVth Conference of the European Researchers in Didaktik of Biology (ERIDOB)*. Toulouse, pp. 47.
- Harms, U., W. Bündler (1999). *Zuwachs von Kompetenz erfahrbar machen: Kumulatives Lernen. Erläuterungen zum Modul 5 des Modellversuchs der Bund-Länder-Kommission "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts"*, IPN, Kiel.
- Hewson, P.W., Hennesey, H.G. (1992) Making Status Explicit: a Case of Conceptual Change. In: Duit, R., Goldberg, F., Niedderer, H. (Eds.) *Research in Physics Learning: Theoretical and Empirical Studies*. IPN: Kiel. pp: 176 – 187.
- Lewis, J., Leach, J. Wood- Robinson, C. (2000a). What´s in a cell? -young people´s understanding of the genetic relationship between cells, within an individual. *Journal of Biological Education* (2000) 34 (3): 129 - 132.
- Lewis, J., Leach, J. Wood- Robinson, C. (2000b).Chromosomes: the missing link- young people´s understanding of mitosis, meiosis, and fertilisation. *Journal of Biological Education* (2000) 34 (4): 189 - 199.
- Messner, H. (1978). *Wissen und Anwenden*. Klett-Cotta.
- Pozo, J. I. (1999). Sobre las relaciones entre el conocimiento cotidiano de los alumnos y el conocimiento científico: del cambio conceptual a la integración jerárquica. *Enseñanza de las Ciencias*, Junio 1999, Número Extra. pp: 15-29.
- Verband Deutscher Biologen und biowissenschaftlicher Fachgesellschaften e.V.

(Hrsg.) (2002). Weniger (Additives) ist mehr (Systematisches) Kumulatives Lernen. Handreichung für den Biologieunterricht in den Jahrgängen 5 – 10.

Weinert, F.E. (1995); Lerntheorien und Instruktionsmodelle. In: Weinert, F.E. (Hrsg.): Psychologie des Lernens und der Instruktion. Enzyklopädie der Psychologie. D/I Pädagogische Psychologie, Bd. 2, Hogrefe Verlag, Göttingen, S. 1-47.

White, R. Gunstone, R. (1992). Probing Understanding, The Falmer Press.