

Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel (IPN)

Manfred Lehrke, Peter Häußler

BLK-Programmförderung "*Steigerung der Effizienz des
mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts*"

Erläuterungen zu Modul 4

mit Beispielen für den Physik- und Chemieunterricht

**Sicherung von Basiswissen -
Verständnisvolles Lernen auf unterschiedlichen Niveaus**

Stand Oktober 1999

INHALT	Seite
Einleitung und Überblick	2
Beziehung zu anderen Modulen	4
TEIL 1	5
Verstehen und Verständnis: Was hat Lernen überhaupt mit Verstehen zu tun?	5
Was sind die Folgen oberflächlichen Lernens und mangelnden Verständnisses?	11
Lernen auf unterschiedlichen Komplexitätsniveaus	11
Wie Basiswissen definieren?	11
TEIL 2	13
Ein fachdidaktisches Modell zur Differenzierung von Verstehensniveaus	13
Zusammenfassung	16
Identifizierung von Verstehensniveaus bei ausgewählten Themen der Physik und Aufgabenbeispiele	17
Ein Beispiel aus der Chemie (von Prof. Dr. Reinhard Demuth)	24

Einleitung und Überblick

Jeder, der etwas mit Schule zu tun hat, weiß, wie unterschiedlich die Voraussetzungen bei den Schülern sind, den Lernstoff mit Verständnis zu bearbeiten. Die Vorerfahrungen sind unterschiedlich, das Interesse, die "Begabung" für das Fach und vor allem: die bisherige individuelle Lerngeschichte. In vielen Untersuchungen hat sich aber gerade dies gezeigt: Was jemand bereits weiß und beherrscht, ist entscheidend für seinen weiteren Lernerfolg.

Auch die Ergebnisse von TIMSS haben wieder bestätigt, wie groß die Unterschiede in der Leistungsfähigkeit unserer Schülerinnen und Schüler in Mathematik und den Naturwissenschaften sind, und zwar nicht nur zwischen den Schulformen und zwischen einzelnen Schulen, sondern auch innerhalb der Klassen. Eine beträchtliche Anzahl von Schülern hat erhebliche grundlegende Defizite. Diese erschweren den Übergang in die berufliche Erstausbildung, und sie beeinträchtigen das weitere Lernen massiv. Aber auch bei vielen derjenigen Schüler, die besser abschneiden, laufen die Lernprozesse oft nicht optimal ab, auf jeden Fall weniger günstig, als man das eigentlich erwartet; denn insgesamt gesehen liegen die relativen Stärken der deutschen Schüler, wie sich inzwischen wohl herumgesprochen hat, eher im Bereich der Routineaufgaben. Schwächen und Defizite finden sich dagegen gerade bei solchen Aufgaben, die konzeptuelles Verständnis und den flexiblen Umgang mit dem Gelernten verlangen. Mangelndes Verständnis beim Lernen deutet aber auf Mängel des Unterrichts hin.

Wenn das Vorwissen der beste Prädiktor für den weiteren Lernerfolg ist, kann es dann überhaupt gelingen, möglichst alle Schüler einer Klasse aktiv am Fortgang des Unterrichtsgeschehens zu beteiligen, möglichst alle zu fördern? Oder ist es mehr oder weniger unumgänglich, die schwächeren Schüler "abzuhängen" und die besseren vielleicht zu unterfordern?

Im Zentrum von Modul 4 steht die Art und Weise, wie im Unterricht mit der gegebenen Heterogenität bei den Lernvoraussetzungen der Schüler umgegangen wird und vielleicht umgegangen werden könnte. Im gegliederten Schulwesen der Bundesrepublik hat man diese Frage bisher offenbar nicht übermäßig stark beachtet. Vielleicht hat man stillschweigend angenommen, daß mit der Gliederung in Schulformen die passende Antwort bereits gefunden sei. In Wirklichkeit gibt es aber, wie gesagt, auch an den Schulen im gegliederten System eine relativ breite Streuung bei den kognitiven Fähigkeiten, der Motivation, dem Arbeitsverhalten, den jeweiligen Vorerfahrungen, der häuslichen Unterstützung sowie der Physis. Die Expertise "Steigerung der Effizienz . . ." verweist darauf, daß Lehrkräfte in anderen Ländern geschickte Verfahren entwickelt haben, mit heterogenen Lernvoraussetzungen umzugehen, und zwar

ohne daß Lerngruppen im Sinne einer inneren Differenzierung gebildet werden. Auch die Einheitsschule in der ehemaligen DDR hatte Fördererfolge besonders bei den schwächeren Schülern vorzuweisen, ohne die stärkeren zu vernachlässigen, was offenbar zu tendenziell besseren Durchschnittsleistungen als in der alten Bundesrepublik geführt hat.

In vielen Ländern setzt man sich mit der Frage auseinander, welche Konsequenzen für den Unterricht aus der Tatsache gezogen werden sollen, daß die Lernvoraussetzungen so unterschiedlich sind. Bei aktuellen Reformbemühungen in den Niederlanden etwa sind die leitenden Prinzipien eines neuen Programms zur Weiterentwicklung des Schulunterrichts die folgenden: aktives und selbstreguliertes Lernen, lehren wie man lernt und eben auch der Umgang mit individuellen Differenzen.

Daß die Bedeutung von Unterschieden bei den Lernvoraussetzungen so starke Beachtung findet, ist natürlich kein Zufall. Dies hängt unmittelbar mit Vorstellungen und Erkenntnissen über das Lernen zusammen, die als "konstruktivistisch" bezeichnet werden und die inzwischen immer mehr geteilt werden.

In der Expertise heißt es dazu:

"Verständnisvolles Lernen ist ein aktiver und konstruktiver Aufbau von Wissenssystemen. Dies ist immer ein individueller Konstruktionsprozeß, der maßgeblich durch das verfügbare Vorwissen und den dadurch beschriebenen Verständnishorizont beeinflusst wird. Der kumulative Verlauf des Lernens innerhalb eines Wissensbereichs wird unmittelbar durch die Qualität des Vorwissens bestimmt. . . . Fehlendes Wissen, insbesondere Lücken im Bereich des Basiswissens, erschweren jedes weitere Lernen. Derartige Defizite sind insbesondere bei lernschwächeren Personen die größten Hindernisse für befriedigende Lernfortschritte. Tendenzuell werden von Lehrkräften in der Schule die Bedeutung des Vorwissens unterschätzt und Umfang und Qualität des verfügbaren Wissens von Schülern überschätzt. Die in unseren Schulen vorherrschende Praxis der Leistungsüberprüfung durch Klassen- (Schul-)arbeiten, die überwiegend nur kürzlich behandelte Stoffe berücksichtigen, ist wahrscheinlich für diese Fehleinschätzung mitverantwortlich."(Expertise, S. 17 f.)

Überholt ist also die Vorstellung, wonach Lernen in der mehr oder weniger voraussetzungslosen Übernahme fertiger, vorgefertigter Wissensbestände besteht, bei der der Lernende eine eher passive Rolle hat. Trotzdem scheint diese überholte Vorstellung noch häufig den "typischen" Unterricht zu prägen.

Der anzustrebende Unterricht wäre demnach also ein solcher, in dem möglichst viele (möglichst alle) Schüler sich aktiv und mit Verständnis an der Bearbeitung der gestellten Lernaufgaben beteiligen (können). An die Stelle der traditionellen Belehrung treten schülerzentrierte Lernprozesse. Dabei sind die äußeren Aktivitäten weniger entscheidend. Ob Frontal- oder Gruppenunterricht, ob Stillarbeit oder Projektunterricht: entscheidend sind die jeweiligen mentalen Aktivitäten bei jedem einzelnen Schüler. Wenn wir aber davon ausgehen, daß der Verständnishorizont von Schüler zu Schüler unterschiedlich entwickelt ist, dann stellt sich natürlich die Frage, ob und wie trotzdem jeder einzelne mit Verständnis am gemeinsamen Unterricht teilnehmen und aktiv hinzulernen kann.

Beziehung zu anderen Modulen

Modul 1 (Weiterentwicklung der Aufgabenkultur): Hier geht es u.a. um Aufgabenstellungen, die Schüler auf unterschiedlichen Kompetenzniveaus zu Lernaktivitäten anregen können und die damit verständnisvolles Lernen ermöglichen.

Modul 9 (Verantwortung für das eigene Lernen stärken): Eigenverantwortliches Lernen kann sich nur entwickeln, wenn mit Verständnis gelernt wird, also jeweils auf einem Niveau, das dem Erfahrungshorizont entspricht.

Modul 10 (Prüfen): Wenn Kompetenzzuwächse erfasst und rückgemeldet werden sollen, dann müssen Kompetenzniveaus in einer Weise definiert werden, daß diese abprüfbar sind.

Im Teil 1 dieser Erläuterungen werden zunächst die Begriffe Verstehen und Verständnis näher betrachtet; anschließend wird gefragt, was es mit unterschiedlichen Niveaus beim "verständnisvollen Lernen" auf sich hat. Es folgen Überlegungen dazu, was mit "Basiswissen" gemeint sein kann.

Der Teil 2 besteht aus Beispielen aus dem Physikunterricht für unterschiedliche Verständnisebenen sowie einem kurzen Beispiel aus der Chemie.

Verstehen und Verständnis: Was hat Lernen überhaupt mit Verstehen zu tun?

Muß man unbedingt etwas verstehen, wenn man lernt? Es ist jedenfalls nicht selbstverständlich, daß Lernen mit Verständnis verbunden ist. Kleine Kinder etwa lernen viele komplizierte Dinge, ohne darüber nachzudenken und ohne zu verstehen, was und wie sie lernen. Und in der Schule können Formeln, Definitionen, Termini auswendig gelernt werden, ohne daß immer verstanden wird, worum es dabei eigentlich geht. Das hat dann allerdings negative Konsequenzen, auf die wir noch zu sprechen kommen werden.

Hier sind zunächst einige Beispiele für Lernen auf unterschiedlichen Verständnisniveaus:

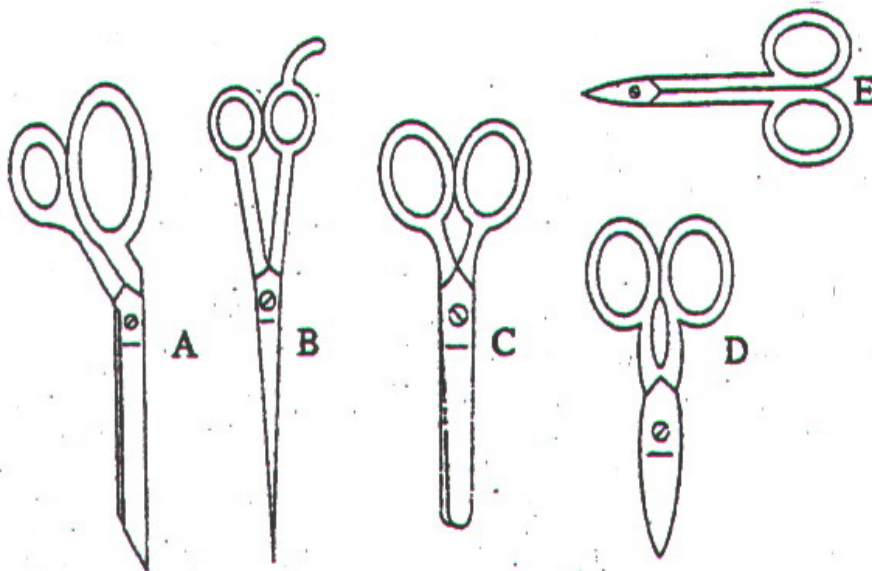
Die folgenden oder ähnliche Sprichwörter oder Redewendungen kann man mit mehr oder weniger Verständnis lernen:

- (a) "Viele Köche verderben den Brei."
- (b) "Wenn alle an einem Strang ziehen, geht es schneller."
- (c) "Was lange währt, wird endlich gut."
- (d) "Wer zu spät kommt, den bestraft das Leben."

Man kann sie auswendig lernen, z. B. durch häufiges Wiederholen. Früher oder später gelingt es, die Sprüche aufzusage, etwa auf ein Stichwort hin. Beim mechanischen Auswendiglernen können wir auch vom "Sinn" dieser Sätze absehen. Freilich fällt das mechanische Auswendiglernen bei muttersprachlichen Sätzen mit akzeptabler Grammatik leichter. Ein bißchen Verständnis ist also durchaus hilfreich beim Lernen. Aber es kann mehr oder weniger Verständnis im Spiel sein. So muß sich der Lernende nicht dessen bewußt sein, daß er sich Sprichwörter oder Alltagsweisheiten und nicht etwa Beschreibungen realer Sachverhalte aneignet. Bei diesen Beispielen dürfte es den meisten leicht fallen zu verstehen, was mit diesen Sätzen gemeint ist. Es ist allerdings die Frage, ob die abstrakte Aussage dieser Sätze von den Lernenden nachvollzogen wird. Nachdem die Aussagen abstrakt sind, stellt sich dann aber die Frage, auf welche Situationen sie, z. B. als Faustregel, sinnvoll anzuwenden sind. Unter welchen Bedingungen ist es besser bzw. schlechter, gemeinsam an etwas zu arbeiten ("a" oder "b") oder mit dem Handeln zu warten ("c" oder "d")? Wenn man das genau beschreiben kann, dann hat man die Sprüche verstanden.

Das Verständnis beim Lernen kann also unterschiedlich tief sein. Es kann eher unterschiedlich differenzierend oder eher generalisierend und abstrahierend ausgeprägt sein. Dies ist abhängig von dem Wissen und den Erfahrungen, mit denen der neue Lernstoff in Beziehung gesetzt werden kann und in Beziehung gesetzt wird.

Ein anderes Beispiel: Die Abbildung unten zeigt verschiedene Arten von Scheren. Erst wenn man die Scheren in ihrem Handlungskontext betrachtet (siehe folgende Seite!), wird deutlich, warum sie die jeweiligen Merkmale benötigen. Dann hat man ihre Charakteristika verstanden, und man merkt sie sich auch leichter.



Merkmale	Funktion
A. Schneiderschere	
schwer	wegen der Art des Gebrauchs
ein Griffloch größer als das andere	damit zwei oder drei Finger in das größere Loch passen - erlaubt größere Sicherheit beim Schneiden von Stoff auf flacher Oberfläche
Klingen seitlich versetzt, Unterkante bildet eine Linie mit Grifftrand	damit die Schere beim Schneiden des Stoffes auf der Tischplatte ihre Position beibehält - wieder wegen der größeren Sicherheit
B. Frisörschere	
sehr scharf	um dünnes Material (Haar) zu schneiden
spitz	erlaubt den Klingen, nahe der Kopfhaut zu schneiden und sehr kleine Strähnen zu erwischen
Haken am Fingerloch	Ablage für einen Finger, damit die Schere in verschiedenen Winkeln eingesetzt werden kann - größere Beweglichkeit
C. Taschen- oder Kinderschere	
abgerundete Enden	damit Schere in der Tasche getragen werden kann, ohne dass der Stoff beschädigt wird; damit Kinder damit hantieren können, ohne sich selbst und andere zu verletzen
kurze Klingen	erlauben bessere Kontrolle durch das ungeübte Kind
D. Nagelschere	
breit und dick am Drehpunkt	um dem Druck beim Schneiden dicken und festen Materials (z.B. Nägel) standzuhalten
leicht gebogene Klingen	zum Schneiden leicht gebogener Nägel
E. Hautschere	
sehr scharfe Klingen	zum Schneiden elastischen Materials (wie z.B. Haut)
klein, gebogene Klingen	um kleine abgerundete Bereiche schneiden zu können
langer Abstand von den Fingerlöchern zum Gelenk	notwendig zur Handhabung als Ausgleich für die kurzen Klingen

(entnommen aus Cognition & Technology Group, 1997)

Und jetzt folgt das Ganze noch einmal etwas "theoretischer":

Der Begriff des Verstehens ist vielschichtig und facettenreich. Dies ist sowohl umgangssprachlich als auch in der Wissenschaft der Fall. Man kann z.B. die Bedeutung eines Wortes oder den Sinn eines Textes verstehen oder auch eine mathematische Formel. Verstehen kann auch bedeuten, etwas zu beherrschen ("sich auf etwas verstehen"). In der geisteswissenschaftlichen Tradition hat Verstehen eine lange Tradition (Hermeneutik). In jüngerer Zeit bemühen sich die Kognitionswissenschaften verstärkt und mit Erfolg um die Aufklärung von Verstehensprozessen. (Bei "Verstehen" denken wir eher an den Prozess, bei "Verständnis" eher an dessen Ergebnis.)

Um die allgemeine Struktur von Verstehensprozessen zu beschreiben, muß man mindestens drei Konstituenten berücksichtigen, nämlich

- den Subjektbezug,
- den Objektbezug sowie
- die Kontextgebundenheit.

REUSSER & REUSSER-WEYENETH ¹⁾ führen dazu aus:

"Erstens hat . . . (eine Verstehenstheorie) *auszugehen von der Person des Verstehenden*, von dem, was die/der Verstehende in die Verstehenssituation mitbringt: von der Struktur des aktualisierten Vorwissens, von den von der Person verfolgten kognitiven Perspektiven und Zielen, den von ihr hochgehaltenen idealen und realen Standards der Verstehensgüte, den Einstellungen und Wertüberzeugungen - das heisst insgesamt vom subjektiven Hintergrund bzw. dem personalen Horizont des Weltwissens, vor dem sich jedes Verstehen abspielt.

Zweitens hat jede Verstehenstheorie die *unterschiedliche Natur von Verstehensgegenständen oder -objekten* zu berücksichtigen. Es kann sich dabei um Objekte mit festem Sinnbestand und

¹⁾ Reusser, Kurt, u. Reusser-Weyeneth, Marianne: "Verstehen als psychologischer Prozess und als didaktische Aufgabe: Einführung und Überblick." In: Reusser/Reusser-Weyeneth (Hrsg.): Verstehen. (Bern, Göttingen, Toronto, Seattle 1994)

stabiler Zugriffsmöglichkeit auf ihre vollständige und wohldefinierte Struktur handeln und ebenso um Objekte mit flüchtigem, dynamischem und kaum eindeutig fassbarem Charakter. Nicht alle Verstehensgegenstände besitzen zudem dieselben Freiheitsgrade der Interpretation.

Während z.B. bei der Analyse einer mathematischen Textaufgabe die Beliebigkeit der Interpretationen sehr rasch eingeschränkt wird, ist bei der Deutung eines literarischen Textes oft das Gegenteil der Fall. Durch die Möglichkeit beliebiger Zusatzannahmen entsteht hier auch eine im Prinzip beliebige Anzahl möglicher Deutungen.

Drittens ist der äussere *Kontext, in dem sich Verstehensvorgänge abspielen*, in Rechnung zu stellen. So ist zu fragen, welchem Zweck oder Ziel eine bestimmte Verstehenssituation dient, bzw. welches die kontextuellen, funktional-pragmatischen Randbedingungen sind, unter denen das Verstehen vollzogen wird: Handelt es sich um einen bezüglich geltender Standards normativ überhöhten Kontext wissenschaftlichen Verstehens, um einen einfachen schulischen Lernkontext, um eine Prüfungssituation, um einen alltäglichen Gesprächskontext oder um eine komplexe Entscheidungssituation unter erhöhtem Handlungsdruck?"

Beim verständnisvollen Lernen geht es (unter konstruktivistischer Perspektive) um das absichtsvolle Herstellen von Relationen zwischen den Erfahrungen und dem Wissen der lernenden Person auf der einen Seite und neuen Ereignissen, Problemen, Fakten. Die spezifischen Strukturen der neu zu lernenden Gegenstände werden der subjektiven Wissensstruktur angepasst bzw. in diese integriert. Dadurch erhält das neu Gelernte für den Lernenden Bedeutung.

Typisch für Verstehensprozesse ist, daß sie nicht nach dem Prinzip "Alles-oder-Nichts" funktionieren. Es gibt also nicht die beiden klar unterscheidbaren Kategorien "Verständnis vorhanden" und "Verständnis nicht vorhanden", sondern Zwischenstufen, unterschiedliche Grade von Verständnis oder auch das Verstehen von Teilbereichen eines Gegenstandes. Verständnis kann mehr oder weniger umfangreich und komplex, mehr oder weniger differenziert oder auch mehr oder weniger richtig, z.B. übergeneralisierend oder überdiskriminierend, sein. Hinzu kommt, daß es je nach Erfahrungshorizont unterschiedliche Deutungen, unterschiedliche Sichtweisen desselben Gegenstandes geben kann. Man sagt, Verstehen sei perspektivisch. (Für BRUNER etwa ist sogar die Frage, ob ein bestimmtes Wissen als richtig oder falsch einzustufen ist, abhängig von der Perspektive, die jemand einnimmt. Das gelte z.B. auch für die Beantwortung einer Testaufgabe.) Für die Schule bedeutet die Perspektivität des Verstehens, daß nicht von vornherein davon ausgegangen werden kann, daß alle Schüler einen bestimmten Lerngegenstand in gleicher Weise verstanden haben, auch wenn er im Unterricht gemeinsam durchgenommen worden ist. Aber

die Perspektivität stellt (wie die Unterschiedlichkeit bei den Lernvoraussetzungen ganz generell) nicht nur eine Herausforderung dar, sondern bietet, wie manche Autoren betonen, auch Chancen. Sie ermöglicht z. B. die Entwicklung des Unterrichtsstoffes unter Heranziehung der unterschiedlichen von den Schülern beigetragenen Aspekte oder erleichtert das Eingehen auf typische Fehlvorstellungen oder Mißverständnisse. Unterschiede in Erfahrungen, Wissen, Strategien oder Interessen können in der Lerngemeinschaft das Verständnis erhöhen und so zum gegenseitigen Nutzen wirksam werden.

Manche Unterrichtsforscher sind der Auffassung, daß das Lernen in der Schule oft verständnisarm abläuft. "Die Schüler scheinen im Verlauf ihrer schulischen Sozialisation eine ganze Reihe sozio-emotionaler Bewältigungsstrategien für die an sie gestellten Anforderungen zu entwickeln, die sich jenseits von so etwas wie 'eine Sache gründlich verstehen und beherrschen wollen' bewegen, sondern primär auf die Bewältigung äußerer Anforderungen angelegt sind und zum Teil auf Mißverständnissen über Lernen und Wissensinhalte basieren." (REUSSER & REUSSER-WEYENATH 1994, S. 20)

Was sind die Folgen oberflächlichen Lernens und mangelnden Verständnisses?

Eine sinnvolle Anwendung des nur oberflächlich Gelernten wird kaum gelingen. Es wird bestenfalls in einer Situation reproduziert werden können, die mit derjenigen identisch ist, in der es erworben wurde. Sobald Aufgabenstellungen ein wenig ungewohnt sind, sobald einfache Konzepte, die für sich genommen beherrscht werden, kombiniert werden müssen, sobald Transferleistungen verlangt werden, führt ein Mangel an Verständnis zum Scheitern. Auch zum verständnisvollen Weiterlernen, zum verstehenden Einordnen neuer Informationen, zum Wiedererkennen und zum Problemlösen kann das nur Auswendiggelernte nicht beitragen. Zudem werden Dinge, die ohne Verständnis gelernt werden, schneller wieder vergessen. Sie werden nicht so gut behalten, weil sie nicht mit anderen Inhalten und Erfahrungen verknüpft und dadurch im Gedächtnis verankert sind. Oberflächliches Lernen oder Auswendiglernen, ohne zu verstehen, scheint aber nicht selten die Strategie besonders schwächerer Schüler zu sein, um wenigstens vordergründig dem Unterricht zu folgen.

Lernen auf unterschiedlichen Komplexitätsniveaus

Wohl jeder kennt diese Erfahrung: In einer bestimmten Situation hat man plötzlich das Gefühl oder merkt deutlich, daß man einen Sachverhalt, den man schon lange verstanden zu haben glaubte, jetzt auf einmal noch besser oder "erst richtig" versteht? Dies kann z.B. dadurch geschehen, daß man erlebt, wie eine andere Person mit diesem Wissen umgeht. Oft passiert es auch dann, wenn ich die Aufgabe habe, Wissen weiterzugeben, also jemandem etwas zu erklären oder beizubringen. Ich muß mir dann die Grundlagen neu bewußtmachen und mich auf die Sichtweise des "Schülers" einstellen, vielleicht auch Fragen beantworten, die ich mir selbst vorher noch nicht gestellt hatte.

Wie macht es sich bemerkbar, daß man auf einmal etwas besser versteht als vorher? Dadurch, daß man jetzt mehr und andere Bezüge sieht, daß man mögliche Anwendungen des Wissens entdeckt, an die man vorher nicht gedacht hat, dadurch, daß man sein früheres Wissen als Sonderfall eines allgemeineren Prinzips versteht. Man ist gewissermaßen im Lernprozess auf eine höhere Stufe, auf ein höhere Niveau, gestiegen. Wie aber ist der frühere Zustand einzuordnen? Habe ich mich getäuscht, als ich annahm, den Sachverhalt bereits zu verstehen? Wohl nicht; denn auch damals bedeutete mir mein Wissen ein Stück Erkenntnis und Kompetenz, und ich konnte es sinnvoll anwenden, wenn auch in einem aus der neuen, aktuellen Sicht eingeschränkten Maße. Aber das gleiche gilt vermutlich (hoffentlich) irgendwann auch für meinen jetzigen Erkenntnisstand. Erinnerung sei auch an die etwas überspitzt formulierte Idee Jerome Bruners, wonach jedes Thema auf jeder Altersstufe "intellektuell redlich" behandelt werden könne. Auch hier liegt die Vorstellung zugrunde, daß notwendigerweise auf unterschiedlichen Komplexitätsniveaus gelernt wird.

Wie "Basiswissen" definieren?

Laut Expertise geht es um "das mathematisch-naturwissenschaftliche Grundwissen und Grundverständnis (...), das notwendige Bedingung für einen erfolgreichen Übergang in die berufliche Erstausbildung ist." Hier ist wohl insbesondere die sichere Beherrschung der Grundrechenarten und des sog. "bürgerlichen Rechnens" gemeint. An anderen Stellen wird Basiswissen durch seine Funktionen für das weitere Lernen beschrieben: Es geht um anwendbares und anschlussfähiges Orientierungswissen, das die Grundlage für verständnisvolles Weiterlernen, verstehendes Einordnen, Wiedererkennen und Problemlösen

bildet. Man könnte auch von "kulturellen Basiswerkzeugen" sprechen. Im Sinne der Expertise sind damit weder formale Schlüsselqualifikationen noch "vereinzelte und mechanisch erworbene Kenntnisse gemeint, sondern ein intelligent geordnetes, in sich vernetztes, in verschiedenen Situationen erprobtes und flexibel anpaßbares Wissen. Dazu gehören Fakten-, Konzept-, Theorie-, Methoden- und Prozeßwissen gleichermaßen." (Expertise, S. 17) Dies bedeutet aber nichts anderes, als daß nur über verständnisvolles Lernen sicheres Basiswissen aufgebaut werden kann.

Wie kann man herausfinden, was das grundlegende, unverzichtbare Wissen in einer Domäne ist? Ein Blick in die Lehrpläne gibt natürlich schon Hinweise; aber es bestehen auch andere Möglichkeiten. Wenn der Maßstab das Weiterlernen ist, dann wäre der Voraussetzungscharakter von Termini, Fakten, Regeln und Gesetzen wichtig. Bei den Basiskonzepten wäre es etwa das Wissen über die Erkenntnismethoden der Naturwissenschaften wie Beobachten, Analysieren, Experimentieren, Vergleichen und Systematisieren, Modellbildung.

Es sind also diejenigen Dinge, die sich quasi wie ein roter Faden durch den Unterricht ziehen, die immer einmal wieder aufgegriffen oder benötigt werden und mit denen möglichst viele (wenn nicht alle) Schüler etwas "anfangen können" sollten. Sich über dieses Basiswissen zu verständigen ist möglicherweise der erste wichtige Schritt für eine konkrete unterrichtsbezogene Kooperation innerhalb einer Fachgruppe. Und wenn Klarheit über das Basiswissen und Basisverständnis besteht, dann wird man auch leichter über Verstehensniveaus nachdenken können.

Ausdrücklich angemerkt sei hier, dass das, was im folgenden zweiten Teil steht, Beispiele sind. Sie sollen nichts "präjudizieren". Für andere Themen oder Fächer, z.B. die Biologie, können ganz andere Differenzierungen angemessen sein. Für die Mathematik liegen ja bereits Beispiele vor. Auch kann das, was bereits "vor Ort" erarbeitet worden ist, mindestens genau so sinnvoll sein oder sich im Laufe des nachfolgenden Erfahrungsaustausches als tragfähiger erweisen. Mehr noch als bei anderen Modulen wird man wohl erst durch den Austausch von konkurrierenden oder sich ergänzenden Ideen, von unterschiedlichen Ansätzen und nicht zuletzt den Erfahrungen im Unterricht zu einer Konkretisierung möglicher Vorgehensweisen gelangen.

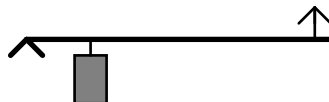
Ein fachdidaktisches Modell zur Differenzierung von Verstehensniveaus

Hinter der im Rahmen von Modul 4 ausgesprochenen Forderung, unterschiedliche Verstehensniveaus zu definieren, steht die Vorstellung, daß sich Lernende beim Verstehen eines naturwissenschaftlichen Sachzusammenhangs Hürden gegenübersehen, deren Höhe von der Art der zu lernenden Inhalte bestimmt werden. In diesem Sinne ist es also Aufgabe der Fachdidaktik, sich Klarheit über das Wesen dieser das Verstehen erschwerenden Hürden zu verschaffen. Wir wollen im folgenden an einem durchgehenden Beispiel zeigen, daß solche Hürden ganz unterschiedliche Dimensionen zugerechnet werden können.

Eine **erste** Dimension hängt mit der Komplexität der physischen Repräsentation eines naturwissenschaftlichen Sachverhalts zusammen. So wird zum Beispiel dieser zweiarmige Hebel



als Prototyp einer Wippe sicherlich leichter erkannt und führt eher zu einer erfolgreichen Entdeckung oder Anwendung des Hebelgesetzes als dieser einarmige Hebel.



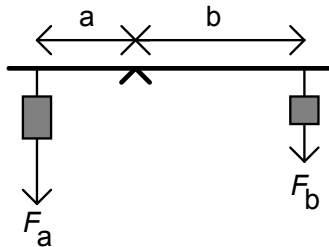
Eine noch größere Abweichung vom Prototyp liegt vor, wenn Hebel und Hebelwirkungen versteckt auftreten, wie zum Beispiel an Zangen, Schubkarren oder am menschlichen Körper. Bei solcherart verfremdeten Hebel dürfte es viel schwieriger sein, die für die Anwendung des Hebelgesetzes erforderlichen Abmessungen und Kräfte zu identifizieren.

*

Eine einer **zweiten** Dimension zuzurechnende Hürde hängt mit der Abstraktheit der naturwissenschaftlichen Konzepte zusammen, die der Deutung eines betrachteten naturwissenschaftlichen Sachverhalts zugrundegelegt werden. Wieder demonstriert am Beispiel des Hebels, läßt sich die Bedingung für das Gleichgewicht mit drei unterschiedlichen physikalischen Konzepten beschreiben.

- Beschreibung auf der Grundlage des **Kraftkonzepts**

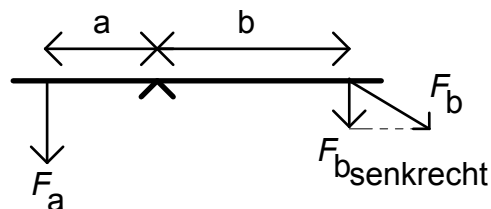
$$F_a \cdot a = F_b \cdot b$$



Die Kraftbeschreibung dürfte die für das sichere Handhaben des Hebelgesetzes günstigste sein, zumal die Kräfte mit den angehängten Massen korrespondieren.

- Beschreibung auf der Grundlage des **Drehmomentkonzepts**

Bereits wesentlich anspruchsvoller, weil abstrakter, dürfte das Drehmomentkonzept sein. Dafür kann die Bedingung für das Gleichgewicht am Hebel sehr einfach und elegant formuliert werden, und zwar auch noch für Fälle, bei denen die Kräfte unter beliebigen Winkeln an den Hebelarmen angreifen. Führt man nämlich das Drehmoment M als Produkt aus Abstand zum Drehpunkt und der senkrecht auf dem Hebelarm stehenden Kraftkomponente ein, ergibt sich zum Beispiel für folgende geometrische Konstellation,



daß für den Gleichgewichtsfall die Summe der Drehmomente $M_a = -F_a \cdot a$ und $M_b = F_{b\text{senkrecht}} \cdot b$ gleich null ist:

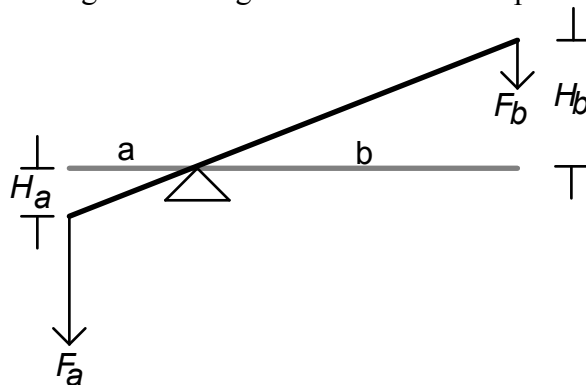
$$M_a + M_b = 0$$

Auch für den Fall von mehr als zwei Drehmomenten (zum Beispiel hervorgerufen durch die nicht zu vernachlässigenden Drehmomente der beiden Hebelarme) läßt sich die Gleichgewichtsbedingung sehr einfach angeben:

$$\Sigma M_i = 0$$

- Beschreibung auf der Grundlage des **Energiekonzepts**

Noch einmal anspruchsvoller wird die Behandlung des Hebels, wenn man die Hebelwirkung als einen Spezialfall des Energiesatzes begreift. Wird zum Beispiel wie in der Zeichnung



das Ende eines Hebels aus einer Ausgangslage unter der Wirkung einer Kraft F_b um die Strecke H_b gesenkt, so muß sich die dazu erforderliche Arbeit $F_b H_b$ aus Energieerhaltungsgründen in der entsprechenden Hubarbeit der anderen Hebelseite wiederfinden:

$$F_a H_a = F_b H_b$$

Wegen $H_a : a = H_b : b$ folgt unmittelbar $F_a \cdot a = F_b \cdot b$

*

Eine einer **dritten** Dimension zuzurechnende Hürde hängt mit dem Anspruch an die mathematische Behandlung eines Sachverhalts zusammen.

Wieder bezogen auf das Hebelbeispiel wäre zu unterscheiden zwischen einer **qualitativen** Behandlung (je größer die Kraft, um so näher muß der Angriffspunkt an den Drehpunkt verlegt werden, um den Hebel im Gleichgewicht zu halten) und einer **quantitativen** Behandlung (bei Verdopplung der Last muß ihr Abstand vom Drehpunkt halbiert werden). Darüber hinaus könnte es erforderlich werden, wegen des Vektorcharakters von Kräften eine Komponentenzerlegung vornehmen zu müssen.

Zusammenfassung

In drei voneinander unabhängigen Dimensionen lassen sich unterschiedlich hohe Hürden identifizieren, die zum angemessenen Verstehen eines naturwissenschaftlichen Sachverhalts genommen werden müssen.

1. Dimension: Komplexität der physischen (geometrischen) Konstellation eines naturwissenschaftlichen Sachverhalts

- A: Einfache Konstellation sehr nahe am Prototyp
- B: Durch zusätzliche Komponenten verfremdete Konstellation
- C: Eine sich sehr weit vom Prototyp entfernende Konstellation

2. Dimension: Abstraktheit der zur Beschreibung eines naturwissenschaftlichen Sachverhalts herangezogenen Konzepte

- 1: Konzepte, die nahe an den physischen Gegebenheiten liegen
- 2: Von den physischen Gegebenheiten abstrahierende Konzepte
- 3: Übergeordnete, allgemeingültige Konzepte

3. Dimension: Anspruch der zur Beschreibung eines naturwissenschaftlichen Sachverhalts erforderlichen formalen (mathematischen) Mittel

- I: Qualitative Beschreibungen, Je-Desto-Beziehungen
- II: Quantitative Beschreibungen mit Hilfe der 4 Grundrechenarten
- III: Mathematische Mittel, die über die 4 Grundrechenarten hinausgehen

Identifizierung von Verstehensniveaus bei ausgewählten Themen der Physik und Aufgabenbeispiele

Da die im vorausgegangenen Kapitel entwickelten Dimensionen zur Differenzierung von Verstehensniveaus voneinander unabhängig sind, lassen sich rein theoretisch 27 unterschiedliche Niveaus beschreiben (A 1 I bis C 3 III), die freilich nicht bei jedem Sachverhalt, der auf diese Weise differenziert werden soll, sinnvoll zu sein brauchen oder im Rahmen der Schulphysik realisiert werden können. Im folgenden machen wir für einige ausgewählte Themen der Physik Vorschläge, wie verschiedene Verstehensniveaus aussehen könnten und skizzieren zur Illustrierung jeweils einige Beispielaufgaben.

Thema: **Hebel**

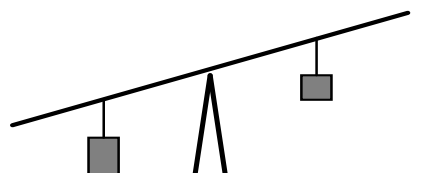
Prototyp



	1. Dimension		2. Dimension		3. Dimension
A	Wippe, zweiarmiger Hebel	1	Kraftkonzept	I	Qualitativ, je desto
B	Einarmiger Hebel	2	Drehmomentkonzept	II	Quantitativ
C	Hebel, bei dem die Kraft nicht senkrecht am Hebelarm angreift; Versteckte Hebel	3	Energiekonzept	III	Vektorzerlegung der Kraft

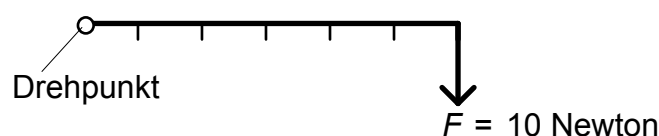
Beispielaufgaben:

A 1 I: Auf der Zeichnung siehst du eine Wippe, die nicht im Gleichgewicht ist.



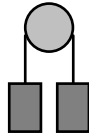
Wo müßtest du das kleinere Gewicht ungefähr aufhängen, damit die Wippe ausbalanciert ist? Markiere die Stelle mit einem Kreuz.

B 2 II: Auf der Zeichnung siehst du einen 60 Zentimeter langen einarmigen Hebel, an dessen Ende eine Kraft $F = 10$ Newton angreift.



- Wie groß ist das Drehmoment der Kraft F ?
- Zeichne für drei verschiedene Abstände vom Drehpunkt die Kräfte G_1 , G_2 und G_3 ein, die jeweils ein Drehmoment erzeugen, das den Hebel im Gleichgewicht hält.

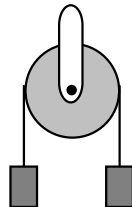
Thema: **Rolle** Prototyp



	1. Dimension		2. Dimension		3. Dimension
A	Feste Rolle	1	Kraftkonzept	I	Qualitativ, je desto
B	Lose Rolle	2	Drehmomentkonzept	II	Quantitativ
C	Flaschenzug	3	Energiekonzept	III	Vektorzerlegung der Kraft

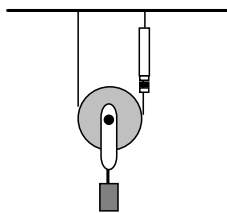
Beispielaufgaben:

A 2 II: Auf der Zeichnung siehst du eine feste Rolle, an der zwei Massen von je 5 kg hängen. Die Rolle hat einen Durchmesser von 20 cm.



- Wie groß ist die Gewichtskraft jeder der beiden Massen?(Rechne mit $g = 10 \text{ m/s}^2$)
- Wie groß ist das Drehmoment der linken Masse?
- Wie groß ist das Drehmoment der rechten Masse?
- Wie groß ist das Gesamtdrehmoment?

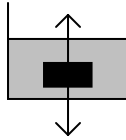
B 1 II: Auf der Zeichnung siehst du eine lose Rolle mit einer Masse von 2 kg, an der eine Masse hängt von 10 kg hängt.



- Wie groß ist die Gewichtskraft von Rolle und Masse zusammen? (Rechne mit $g = 10 \text{ m/s}^2$)
- Was zeigt der in Newton geeichte Kraftmesser an?

Thema: **Auftrieb**

Prototyp



	1. Dimension		2. Dimension		3. Dimension
A	Ganz in Wasser eingetauchter Quader	1	Beschreibung der Kräfte	I	Qualitativ, je desto
B	Ganz in Wasser unregelmäßig geformte Körper	2	Galileis Argumentation über die in Wasser eingetauchte Wasserblase	II	Quantitativ
C	Teilweise eingetauchte Körper	3	Argumentation über den Unterschied des Wasserdrucks in verschiedenen Tiefen	III	

Beispielaufgaben:

B 1 I: Wenn du einen Ball ganz unter Wasser drückst und losläßt, steigt er zur Wasseroberfläche auf. Mache eine Zeichnung des Balls kurz nach dem Loslassen und zeichne die dann auf ihn wirkenden Kräfte ein.

B 2 I: Nimm an, du hast eine dünnwandigen Plastiktüte ganz mit Wasser gefüllt und zugechnürt.

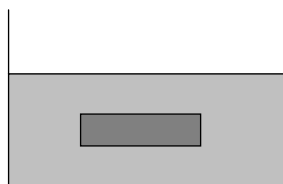
a) Wie verhält sich diese Wasserblase, wenn du sie in einem großen Wasserbecken ganz in dessen Wasser eintauchst?

b) Wie würde sich eine entsprechende "Ölblase" verhalten? (1 Liter Öl hat eine kleinere Masse als 1 Liter Wasser.)

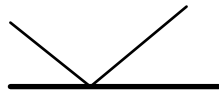
c) Wie würde sich eine entsprechende "Sandblase" verhalten?

b) Begründe, warum die "Sandblase" in Luft schwerer als in Wasser ist.

A 3 II: Auf der Zeichnung siehst du einen ganz in Wasser eingetauchten Steinquader. Seine Höhe sei H und die Fläche seiner Ober- bzw. Unterseite F



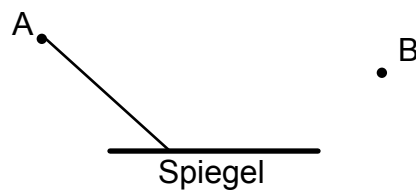
Zeige, daß der Auftrieb gleich dem Gewicht des verdrängten Wasservolumens $F \cdot H$ ist. Berechne dazu die auf die Oberseite und auf die Unterseite des Quaders wirkende Druckkraft.



	1. Dimension		2. Dimension		3. Dimension
A	Reflexion an einer ebenen, glatten Fläche	1	Strahlenmodell	I	Qualitativ, je desto
B	Reflexion an einer gekrümmten Fläche; mehrfache Reflexionen	2	Wellenmodell	II	Quantitativ
C	Reflexion an einer rauhen Fläche	3	Ableitung der regulären Reflexion aus einem Extremalprinzip. (Fermat'sches Prinzip)	III	Differentialrechnung

Beispielaufgaben:

A 1 I: Auf der Zeichnung siehst du einen Lichtstrahl, der vom Punkt A kommend auf einen Spiegel fällt und von diesem reflektiert wird.

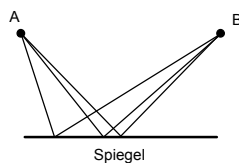


- Zeichne den weiteren Weg des Lichtstrahls ein.
- Zeichne einen Lichtstrahl, der von A ausgeht und am Spiegel nach B reflektiert wird.

A 3 I: Übertrage auf einen DIN A4 Bogen folgende Zeichnung.



- Zeichne dann verschiedene Wege von A nach B, etwa so

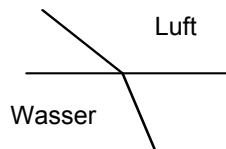


- Messe die Länge dieser Wege mit einem Lineal aus und ermittle den kürzesten Weg.
- Vergleiche diesen kürzesten Weg mit dem Weg eines Lichtstrahls, der dem Reflexionsgesetz folgt. Wie läßt sich das Reflexionsgesetz also auch formulieren?

A 3 III: Zeige unter Verwendung der Differentialrechnung, daß ein Lichtstrahl der von A ausgeht und an einem Spiegel nach B reflektiert wird, den kürzestmöglichen Weg nimmt. (Oberstufe!)

Thema: Brechung

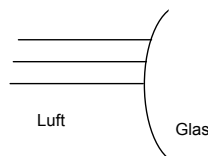
Prototyp:



	1. Dimension		2. Dimension		3. Dimension
A	Brechung an einer ebenen Grenzfläche zwischen einem optisch dünneren zu einem optisch dichteren Medium	1	Strahlenmodell	I	Qualitativ, je desto
B	Brechung an einer oder mehreren gekrümmten Flächen	2	Wellenmodell	II	
C	Grenzwinkel der Brechung beim Übergang von einem optisch dichteren zu einem optisch dünneren Medium	3	Oberstufe! Ableitung des Snelliusschen Brechungsgesetzes aus einem Extremalprinzip: Der Lichtstrahl wird so gebrochen, daß er eine möglichst kurze Zeit unterwegs ist. (Fermat'sches Prinzip)	III	Trigonometrische Funktionen

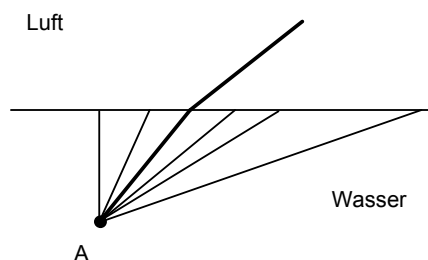
Beispielaufgaben:

B 1 I: Auf der Zeichnung siehst du drei Lichtstrahlen, die auf eine gekrümmte Glasoberfläche treffen.



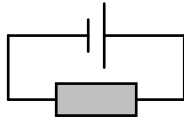
Zeichne ihren weiteren Verlauf ein.

C 1 I: Auf der Zeichnung siehst du einen dick ausgezogenen Lichtstrahl, der von einem Punkt A ausgeht und an der Wasseroberfläche gebrochen wird.



Zeichne den weiteren Verlauf der übrigen (dünn gezeichneten) Lichtstrahlen ein.

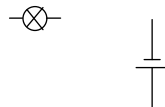
Thema: **Stromkreis** Prototyp:



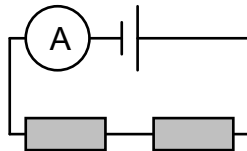
	1. Dimension		2. Dimension		3. Dimension
A	Gleichstromkreis, bestehend aus Stromquelle und Widerstand (elektrischem Gerät)	1	Beschreibung der Anschlußbedingungen	I	Qualitativ, je desto
B	Stromkreis mit Verzweigungen; Parallschaltungen, Sereinschaltungen und gemischte Schaltungen	2	Beschreiben des Fließen eines Materiestroms als Wechselspiel zwischen dem von der Stromquelle besorgten Antrieb und einer vom Widerstand (vom elektrischen Gerät) verursachten Hemmung.	II	Quantitativ
C	Stromkreis mit verfremdeter Konfiguration der Stromquellen bzw. der Widerstände	3	Elektronentheoretische Deutung des Fließen eines Stroms	III	

Beispielaufgaben:

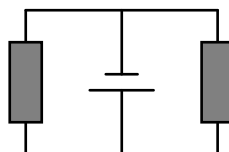
A 1 I: Vervollständige die Zeichnung so, daß das Lämpchen leuchtet.



B 2 II: Wie verändert sich die mit dem Strommesser gemessene Stromstärke, wenn man einen der beiden Widerstände entfernt und die Lücke wieder schließt?



C 1 I: Auf der Zeichnung siehst du ein Schaltbild, auf dem zwei Widerstände an eine Stromquelle angeschlossen sind.



Handelt es sich dabei um eine Parallel- oder um eine Serienschaltung der Widerstände? Begründe deine Antwort.

Anziehung

Thema: **Magnetostatik**

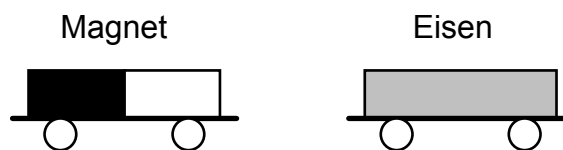
Prototyp



	1. Dimension		2. Dimension		3. Dimension
A	Wechselwirkung zwischen Magneten	1	Beschreibung der Wechselwirkungen der Pole	I	Qualitativ
B	Wechselwirkung zwischen Eisen und Magnet	2	Erklärung mit Hilfe der Elementarmagnete	II	
C	Schwingungen einer Magnetnadel in der Nähe eines Magneten	3	Beschreibung mit Hilfe des Magnetfeldes	III	Vektoren als Größen, die durch Betrag und Richtung gekennzeichnet sind

Beispielaufgaben:

B 1 I: Auf der Zeichnung siehst du einen Eisenklotz und einen in Form und Masse völlig gleichen Magneten. Beide sind auf einem kleinen Wagen montiert.



Wie werden sich die beiden Wägelchen wohl verhalten, sobald sie sich frei bewegen können? Begründe deine Antwort.

C 3 I: Ein langer Eisenstab wird durch Berühren eines starken Magneten magnetisch gemacht und so an einer Schnur aufgehängt, daß er waagrecht hängt und sich hin und her drehen kann. Wie bei einer Kompaßnadel stellt sich auch der magnetisierte Eisenstab schließlich in die Richtung des Magnetfeldes der Erde ein. Vorher pendelt er aber noch eine lange Zeit um diese Richtung.

- Beschreibe die Kräfte die auf den Eisenstab wirken.
- Begründe, warum der Eisenstab immer wieder über die Nord-Südrichtung hinaus-schwingt.
- Begründe, warum der Eisenstab schließlich doch in Nord-Südrichtung zur Ruhe kommt.

Ein Beispiel aus der Chemie: Säuren und Laugen

In diesem Beispiel sollen vier Niveaus mit steigendem Anspruch beschrieben werden, die im Rahmen des Unterrichts angesteuert werden können.

1. Beschreibung der Phänomene, die Säuren und Laugen kennzeichnen

Im Rahmen dieses Anspruchsniveaus können zwei Sachverhalte herausgearbeitet werden.

1. Säuren und Laugen, die zusammen behandelt werden, können mit Hilfe des Geschmacks und genauer mit Hilfe einiger natürlicher Farbstoffe (Indikatoren) identifiziert werden.

⇒ Schüler können von zu Hause Fruchtsaft- oder Gemüsesaftlösungen mitbringen; Essig, Zitrone, saure Drops, aber auch Kalklösung, Tablette gegen Magensäure werden mit verschiedenen Indikatoren und Universalindikator untersucht.

2. Lösungen von Stoffen, die saure Eigenschaften zeigen, können von Lösungen von Laugen in ihren Eigenschaften "neutralisiert" werden.

⇒ Ausgehend von der Frage "Was kann man gegen zuviel Magensäure tun?" oder "Was kann man gegen sauren Boden im Garten tun?" wird die Neutralisation von Säuren mit Laugen und umgekehrt (!) eingeführt und mit Hilfe des Universalindikators verfolgt und gesteuert.

2. Klassifizierung der Säuren und Laugen; unterschiedliche Stärke von Säuren und Laugen; Einführung des pH-Wertes als Maß für die Stärke von Säuren und Laugen

Auf diesem Anspruchsniveau sollen konzentrierte von verdünnten Säuren und Laugen unterschieden werden. Die Neutralisation von starken Säuren mit starken und schwachen Basen bzw. umgekehrt wird durchgeführt (einfache Titrations) und mit Hilfe des Indikators verfolgt. Es wird der pH-Wert als "Übersetzung" der Farbskala in Zahlenwerte eingeführt und zur Klassifizierung der Stärke von Säuren und Laugen verwendet.

3. Beschreibung der Phänomene durch Modellbildung auf submikroskopischer Ebene;

Säure-Base-Theorie nach Arrhenius

Auf diesem Anspruchsniveau wird die makroskopische Ebene verlassen und die beobachteten Phänomene auf die Anwesenheit bestimmter Teilchen zurückgeführt (Modellbildung im submikroskopischen Bereich). Die Bezeichnung "Säure" und "Lauge" kennzeichnet eine Stoffeigenschaft: Säuren setzen in wässrigen Lösungen H^+ - Ionen, Laugen OH^- - Ionen frei. Bei der Neutralisation treten H^+ - Ionen und OH^- - Ionen zu neutralem Wasser, H_2O , zusammen. Die Eigendissoziation des Wassers, sein Ionenprodukt, wird behandelt, der pH-Wert als Maß für die Konzentration der H^+ - Ionen eingeführt.

4. Steigerung des Abstraktionsgrades; Säure-Base-Theorie nach Bronsted

Auf diesem Anspruchsniveau wird eine weitergehende Abstraktionsstufe avisiert, indem die Eigenschaft "Säure" oder "Lauge" nicht mehr als unveränderliche Stoffeigenschaft betrachtet und begriffen wird, sondern als Eigenschaftsbildung, d.h. Funktion von Teilchen, die abhängig von den Randbedingungen unterschiedlich ausfallen kann: korrespondierende Säure-Base-Paare; pK-Werte als Maß für die Säure- oder Basestärke; Ausweitung der Begrifflichkeit auch auf Stoffe, die im Sinne von Arrhenius keine Säuren oder Laugen darstellen, sowie auf nichtwässrige Lösungsmittel.

Die unterschiedlichen Niveaus können durchaus mit den verschiedenen Anforderungen, ggfs. auch Abschlüssen in unterschiedlichen Schulformen in Beziehung gesetzt werden.

Abschluß Hauptschule: Niveau 1 und 2

Abschluß Realschule: darüber hinaus Niveau 3, ggfs. ohne Berechnung des pH-Wertes

Abschluß Gymnasium, Klasse 10: Niveau 3 vollständig; im Differenzierungsbereich auch Niveau 4 in Anfängen

Sekundarstufe II (Grundkurs): Niveau 4