

Modul 3 „Aus Fehlern lernen“

Lutz Stäudel, Kassel

Aus Fehlern lernen – Umschreibung einer Begrifflichkeit

Aus Fehlern lernen – Bedeutung für den Unterricht

Aus Fehlern lernen – Aufgaben für die Fachschaft

„Durch Fehler wird man klug. Dies könnte auch für die Schule gelten. Wenn im Alltag erworbene Vorstellungen, Deutungsmuster und das praktische Handlungswissen auf die konzeptuellen und prozeduralen Vorstellungen stoßen, die der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht vermitteln möchte, entwickelt sich Lernen notwendigerweise auch als Prozess des Fehlermachens und der Fehlerkorrektur. Verständnisfehler sind Lerngelegenheiten, die genutzt oder verpasst werden können.“ [1, S. 93 f.]

Aus Fehlern lernen – Umschreibung einer Begrifflichkeit

„Fehler“ sind an der Tagesordnung, Fehler sind ärgerlich, Fehler zeigen die Schwächen einer Person auf, darum haben Fehler den Beigeschmack des Negativen, nicht nur in der Schule. Aber Fehler sind nicht alle gleich.

In beruflichen Situationen wird zumeist Leistung verlangt, möglichst ohne Fehler. Dies gilt besonders in Berufsfeldern, bei denen Fehler zu dramatischen Konsequenzen führen können. Ein Pilot beim Flug oder ein Chirurg bei der Operation sollte keine entscheidenden Fehler machen. Ähnliches gilt für manche Fehler im Alltag, etwa beim Autofahren.

Für den *wissenschaftlichen Erkenntnisprozess* haben Fehler eine andere Bedeutung. Zwar sollten auch hier praktische Fehler vermieden werden, aber der Erkenntnisfortschritt selbst beruht darauf, dass ein Forscher ständig Fehler macht und aus ihnen lernt. Eine Idee, eine Hypothese wird geboren, wird sie praktisch widerlegt, dann entsteht in der Folge eine neue.

Wenn *Fehler für den Unterricht* als Chance begriffen werden sollen, bedarf es zunächst einer Klärung, mit welcher Art von Fehlern man es in der Schule zu tun hat. Eine Unterscheidung ist insbesondere in der Hinsicht wichtig, ob ein Fehler als Fehlvorstellung das Verstehen behindert, ob es sich also um eine Barriere im Lernprozess handelt, oder ob es lediglich um die nicht sach- und fachgerechte Erledigung von Aufgaben geht, etwa durch einen Rechenfehler oder das Nicht-Berücksichtigen eines Faktors.

Die am weitesten entwickelten Ansätze zur Klassifikation von Fehlern stammen aus der Ingenieurpsychologie. [2] Die folgende Einteilung bezieht sich weitgehend auf diese Systematik, sie unterscheidet Fehler in verschiedenen Phasen der Lösung einer Aufgabe, Fehler mit Bezug auf bestimmte Kompetenzen und Fehlerquellen, die mit der Anwendung häufig genutzter Denkschemata – sog. Heuristiken – zu tun haben.

Fehler in verschiedenen Phasen: Planungs- und Ausführungsfehler [nach 3, 4]

- Planungsfehler bedeuten im naturwissenschaftlichen Unterricht die Anwendung ungeeigneter oder unvollständiger Konzepte, mit denen es unmöglich ist, eine gestellte Frage zu beantworten. Fehlerhaft kann sowohl das Aufgabenverständnis selbst sein wie auch die Wahl der Mittel für die Lösung. Man spricht in diesem Zusammenhang auch vom „falschen bzw. unvollständigen Ansatz“. Zur gleichen Kategorie gehört auch das planlose Herumprobieren.

Um einen falschen Ansatz handelt es sich z.B., wenn ein Schüler versucht, Gegenstands- und Bildweite an einer Blende mit der Linsengleichung zu berechnen.

- Ausführungsfehler (eines an sich richtigen Planes) können viele Ursachen haben, z.B. Zeitmangel, mangelnde Aufmerksamkeit oder mangelnde Gedächtnisleistungen, wodurch etwa ein Teilschritt eines längeren Lösungsweges nicht präsent gehalten und bei der Ausführung dann vergessen wird.

Beim Berechnen der Durchschnittsgeschwindigkeit eines Fahrzeugs in km/h benutzt ein Schüler die richtige Formel „Weg/Zeit“, vergisst aber beim Einsetzen der Werte, dass nicht nur die Zeit mit dem Faktor 3600 von Sekunden in Stunden umgerechnet werden muss, sondern auch der Weg von m in km.

Fehler mit Bezug zu Kompetenzen: Routinefähigkeiten, Regeln und Wissen

- Routinefähigkeiten betreffen bestimmte häufig wiederkehrende und im Prinzip vertraute Handlungen, die man schnell, mit Genauigkeit und zuverlässig ausführen kann. Wird diese Qualität nicht erreicht, dann kommt es zu fähigkeitsbasierten Fehlern:

Aus einer Lösung gegebener Konzentration soll durch Verdünnen eine Lösung geringerer Konzentration hergestellt werden. Der Schüler verrechnet sich beim Anwenden der Kreuzregel.

- Wenn vertraute Aufgaben zu bearbeiten sind, deren Lösung von erlernten Regeln abhängt, treten regelbasierte Fehler dann auf, wenn eine Situation bzw. Aufgabe falsch eingeschätzt wird und ungeeignete Regeln oder Regeln in unvollständiger Weise ausgewählt werden.

Bei einer ähnlichen Verdünnungsaufgabe wird versucht, alte und neue Konzentration in einem einfachen Dreisatz einzusetzen. Falsche Regel, falsches Ergebnis.

- Wissensbasierte Fehler beruhen entweder auf fehlerhaftem oder unvollständigem Wissen, oder auf Fehlschlüssen bei der Anwendung dieses Wissens. Typischerweise führen sie dazu, dass Probleme gar nicht oder völlig falsch angegangen werden können.

Die Konzentration der Ausgangslösung ist in einer auf den Molgehalt bezogenen Größe angegeben – der Ausführende benutzt aus Unkenntnis den Zahlenwert, als wäre es eine Angabe „Masse pro Volumen“.

Typische Fehlerquellen durch Anwendung häufig verwendeter Denkschemata

Den Alltag mit seinen ungezählten Bewertungen, Entscheidungen und nachfolgenden Handlungen können Menschen nur deswegen bestehen, weil sie eine Vielzahl von

Denkschemata entwickelt haben. Solche Schemata entlasten, weil man so nicht gezwungen ist, jede neue Situation oder Fragestellung von Grund auf zu analysieren und zu bewerten. Andererseits sind eben diese Denkschemata aber auch häufig Quellen von Fehlern. In der Psychologie werden solche – oft unbewussten – Denkschemata als Heuristiken bezeichnet, also als „Verfahren zum Finden von Lösungen“. [4]

Bereits an dieser Stelle wird die Ambivalenz von Fehlern sichtbar: Was für den Alltag nützlich und entlastend ist, kann an anderer Stelle, etwa im naturwissenschaftlichen Unterricht, das Lernen und Verstehen behindern. Dann aber von Fehlvorstellungen der Schülerinnen und Schüler zu sprechen, greift offensichtlich zu kurz.

- Von Ähnlichkeitsheuristik spricht man, wenn ein neues Problem dadurch versucht wird zu lösen, dass man den Lösungsansatz eines alten bereits bekannten Problems auf das neue überträgt. Wenn das neue Problem aber z.B. eine andere Dimension aufweist, geht der Ansatz oft in die Irre.

Zwei Busfahrer streiten sich, ob Diesel- oder Elektrofahrzeuge die umweltverträglicheren Fortbewegungsmittel seien. Wer nur die lokalen Auswirkungen wie die Belastung der Luft durch Abgase betrachtet, wie aus der aktuellen Diskussion um den Straßenverkehr bekannt, antwortet sicher zu wenig differenziert. Erst die Einbeziehung der Energiebereitstellung führt zu einer angemessenen Bewertung.

- Die Häufigkeitsheuristik beruht darauf, dass man dasjenige Lösungsverfahren anwendet, das in den meisten Fällen bisher zum Erfolg geführt hat. Im naturwissenschaftlichen Unterricht zeigt sich ein entsprechender Fehler dadurch, dass zum Beispiel die gängigste Formel eines Sachgebietes angewandt wird oder es wird ein Verfahren vorgeschlagen, das zuvor oft angewandt worden ist – im Chemieunterricht etwa das Auflösen in Wasser oder das Behandeln mit einer Säure.

- Die Verfügbarkeitsheuristik wird prägnant durch den Satz charakterisiert: „Wer nur einen Hammer hat, für den sieht jedes Problem aus wie ein Nagel“. Im Unterricht macht sich ein darauf zurückzuführender Fehler dadurch bemerkbar, dass ein Verfahren oder eine Modellvorstellung, die in den letzten Stunden eine wichtige Rolle gespielt haben, ungeprüft auf einen neuen Sachverhalt angewandt werden.

- Als Verankerungsheuristik bezeichnet man das Bestreben, sich bei der Bearbeitung von Aufgaben ausschließlich auf die zuerst gemachten Angaben zu beziehen und an den zuerst gefundenen Teilergebnissen keine nennenswerten Korrekturen mehr zuzulassen. Die entsprechenden Fehler beeinträchtigen insbesondere die Bewertung der Größenordnungen von Ergebnissen: hat man erst einmal eine Zahl ausgerechnet, möchte man sich nicht gerne wieder davon distanzieren.

Ein Schüler berechnet die Geschwindigkeit eines Fahrradfahrers zu 95 m/sec (statt zu 9,5 m/sec). Er lässt sich auch durch die Aufforderung, eine Plausibilitätsbetrachtung vorzunehmen, nicht von seinem Ergebnis abbringen.

- Schließlich wird auch die Zuverlässigkeit von Aussagen, eigener wie fremder, systematisch überschätzt. Dabei ist die Tendenz zur Überschätzung umso größer, je größer das Vorwissen vom betreffenden Gebiet ist und je komplizierter die Argumentation zur Beurteilung eines Sachverhalts ausgefallen ist.

Eine Schülergruppe soll ein Prüfverfahren entwickeln, mit dessen Hilfe auf den stofflichen Aufbau einer Münze geschlossen werden kann. Vor dem Hintergrund kürzlich durchgeführter ähnlicher Versuche versteifen sie sich auf die Messung der Leitfähigkeit und lassen sich auch durch direkte Einwände nicht davon abbringen, sogar als alternative Möglichkeiten vorgeschlagen werden.

Fehler in Prüfungs- und in Lernsituationen

Eine für den schulischen Umgang mit Fehlern mindestens ebenso wichtige Differenzierung von Fehlern ist die Frage, in welcher Situation sie auftreten, in offensichtlichen oder verdeckten Prüfungssituationen oder beim Lernen.

- In offenen Prüfungssituationen wie Klassenarbeiten ist allen Beteiligten klar, dass eine bestimmte Leistung gefordert wird. Belastungen entstehen durch das Gefühl bewertet zu werden, vielleicht den Anforderungen nicht zu genügen und aus der Gewissheit, dass die Bewertung Konsequenzen nach sich zieht. Fehler sind oft dem situativen Stress geschuldet. Gelegentliches Erleben von Versagen führt unter ungünstigen Umständen zu einer Furcht vor langfristigem Versagen.

- In verdeckten Prüfungssituationen lassen sich praktisch regelmäßig Strategien der Fehlervermeidung beobachten. Wenn Schüler das Gefühl haben, dass ihre Aussagen – etwa im fragend-entwickelnden Unterrichtsgespräch – einer Bewertung unterliegen, werden Fehler dadurch vermieden, dass man sich erst gar nicht am Gespräch beteiligt bzw. dass sie nur das sagen, was mit hoher Wahrscheinlichkeit der Erwartung der Lehrkraft genügt. [5] Weil so Verständnisprobleme nicht sichtbar werden, werden wichtige Lerngelegenheiten verpasst. Umgekehrt erhält die Lehrkraft keine bzw. wenig Rückmeldung über die Lernprozesse ihrer Schüler.

Für Lernsituationen lässt sich das Fehlermachen ein weiteres Mal differenzieren:

- Fehler bei der Festigung von Wissen: Beim Üben und Anwenden bereits gelernter Inhalte geht es darum, Gelerntes zu konsolidieren, zu festigen und anwendbar zu machen. Fehler spielen in Übungs- und Anwendungssituationen eine unterschiedliche Rolle. Beim Üben und Trainieren geht es im Wesentlichen darum, Fehler zu reduzieren und Ausführungssicherheit zu erlangen. Während man als Lehrender beim Aufbau von Wissen Fehler unterstützen und nicht zu früh eingreifen sollte, ist hier von besonderer Bedeutung, dass Lernende unmittelbar Fehlerrückmeldungen erhalten. Das Erlernen von Ausführungssicherheit geht einher mit Automatisierungsprozessen, in denen sich keine Fehler einschleifen sollten und diese deshalb rückgemeldet werden müssen. Dabei geht es nicht um Leistung oder Bewertung, vielmehr darum, dass innerhalb der betreffenden Lernsituation eine sachliche und freundliche Rückmeldung darüber erfolgt, wo ein Fehler entstanden ist und welche Möglichkeiten bestehen, diesen Fehler zu überwinden.

- Fehler beim Aufbau von Wissen: Lernen bedeutet die Aufmerksamkeit auf einen Lerninhalt richten, Informationen aufnehmen, sie mit dem eigenen Vorwissen verknüpfen, die Inhalte beurteilen, eigene Schlüsse ziehen, mit dem Wissen experimentieren. Solche Situationen müssen so offen und frei von möglicher Bewertung sein, dass alles gesagt und probiert werden kann. Nur dann können Lernende aktiv versuchen, für sich Bedeutung aus den Inhalten zu schöpfen und gleichzeitig ihre Gedanken offen zu legen und anderen mitzuteilen. Fehler in solchen Lernsituationen, die offen gelegt werden, ermöglichen es,

Fehldeutungen, Missverständnisse und kognitive Konflikte zu klären. In gewissem Sinne bedeutet Lernen ja, dass man etwas noch nicht kann oder weiß bzw. angemessen verstanden hat. Anspruchsvolles Lernen schließt das Fehlermachen mit ein. Notwendig ist dazu nicht nur, eine Sache gedanklich durchzuspielen, sondern auch herauszufinden und zu erfahren, ob eine Erklärung tragfähig ist.

Eine besondere Herausforderung für den naturwissenschaftlichen Unterricht stellt der Umstand dar, dass sich naturwissenschaftliche Sichtweisen und Alltagssicht in vielen thematischen Zusammenhängen grundlegend unterscheiden. Während die spezifischen naturwissenschaftlichen Erkenntnisinstrumente – etwa die Anwendung von Modellvorstellungen, die Mathematisierung, die systematische Ordnung von Phänomenen und Wechselwirkungen, die Aufstellung von Hypothesen und deren experimentelle Überprüfung – machtvolle Werkzeuge darstellen, reichen für den Alltag in den meisten Situationen die oft als „naiv“ oder „vorwissenschaftlich“ attribuierten Denkmuster vollständig aus. Ähnlich wie die oben beschriebenen Heuristiken machen sie den Alltag überschaubar und ermöglichen rasche Orientierung und zügiges Handeln. In vielen Fällen sind Alltagssichten sogar der naturwissenschaftlichen Erklärung praktisch überlegen.

Auch wenn physikalisch eindeutig gilt, dass zur Aufrechterhaltung einer gleichförmigen Bewegung keine Kraft wirken muss, so zeigt doch der Alltag, dass etwa ein PKW schnell zum Stehen kommt, wenn der Motor abgeschaltet wird.

Ähnliches gilt für Verbrennungsprozesse in der Chemie: Trotz gesicherter Massenerhaltung wird eine brennende Kerze mit der Zeit leichter.

Im Zusammenhang mit der Alltagssicht auf Phänomene von Fehlern oder Fehlvorstellungen zu sprechen wird dem Problem, Schülerinnen und Schülern die spezifische Sichtweise der Naturwissenschaften näher zu bringen, sicher nicht gerecht. Zudem blieben die Bemühungen in der Vergangenheit, durch den Unterricht einen Konzeptwechsel bei den Lernenden einzuleiten, bei der Mehrzahl der Schüler ohne nachhaltigen Erfolg. Im Gegenteil kann vermutet werden, dass in der Nichtkompatibilität der Vorstellungen eine gewichtige Ursache für die Unbeliebtheit der Naturwissenschaften und für die zu konstatierenden Lernschwierigkeiten zu suchen ist. Ein möglicher Weg aus diesem Dilemma könnte es sein, die Naturwissenschaften ähnlich wie eine Fremdsprache zu betrachten: Überaus nützlich, aber nur unter bestimmten Bedingungen; unbedingt erforderlich, wenn man sich auf ihr spezifisches Terrain begibt, sozusagen eine Brille, mit deren Hilfe man sich in jenem benachbarten Land zurechtfinden kann.

Charakteristische Beispiele für vorwissenschaftliche bzw. vorunterrichtliche Sichtweisen und Hinweise für den Umgang damit finden sich in Anhang 2.

Es wird schnell deutlich, dass die verschiedenen Arten von Fehlern vor ganz unterschiedlichen Hintergründen entstehen; ebenso unterschiedlich kann ein produktiver Umgang damit sein, angefangen von der einfachen Ermutigung, sich auf erworbene Routinen zu besinnen über strukturierte Gelegenheiten, spezielle Fähigkeiten zu festigen, bis hin zum Vorschlag, für eine bestimmte Situation die Betrachtungsweise zu ändern und dazu sprichwörtlich die naturwissenschaftliche Brille aufzusetzen.

Aus Fehlern lernen – Bedeutung für den Unterricht

Fehler im Unterricht, die negativ sanktioniert werden, ob von der Lehrkraft, Mitschülern oder vom Lernenden selbst, behindern den Lernfortschritt, weil sie demotivierend wirken. Sie nehmen die Zuversicht, die nächste Aufgabe richtig lösen zu können, sie führen zu Lustlosigkeit oder gar zu Widerwillen: wer Misserfolg befürchtet, geht Anforderungen lieber gleich aus dem Weg.

Einen wichtigen Unterschied macht es aber aus, ob ein Fehler „bloß“ in einer Leistungssituation auftritt, etwa während einer Klassenarbeit oder einer mündlichen Wiederholung, oder ob es sich um einen Fehler handelt, der das Verstehen behindert und so das Lernen hemmt. Besonders fatal ist die von Schülern oft erfahrene Verquickung von Lern- und Leistungssituation, z.B. im fragend-entwickelnden Unterricht, wenn die Lehrkraft eine Frage stellt und der antwortende Schüler, die redebereite Schülerin sich unmittelbar der Bewertung einer (falschen) Antwort ausgesetzt fühlt. Die Trennung von Lern- und Leistungssituation ist daher das erste Gebot im Umgang mit Fehlern. [6]

Selbstständigkeitsorientierte Methodenarrangements können hier Abhilfe schaffen: Je mehr das Lernen in die Verantwortung der Schülerinnen und Schüler entlassen wird, je besser die Lernsituationen durch die Lehrkraft gestaltet sind, desto leichter wird auch ein produktiver Umgang mit Fehlern.

Beim Lernen spielen Fehler eine wichtige Rolle. Manche Menschen sind sich dessen durchaus bewusst, wenn sie z.B. von sich sagen, dass „das Leben an sich ja die Summe aller Erfahrungen sei und Fehler einen gängigen Bestandteil dieser Erfahrungen darstellen.“ [7]

Obwohl Fehler im Einzelnen kaum prognostizierbar sind, sind sie doch nicht gleich verteilt. Bestimmte Alltagsvorstellungen von Phänomenen und deren Zusammenhänge treten in Abhängigkeit vom Alter und Vorwissen von Schülern besonders häufig auf. Damit die bekannten typischen Schülervorstellungen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich, die sich durch eine gemeinsame Fehlerlogik auszeichnen, im Unterricht produktiv genutzt werden können, müssen sie als Lerngelegenheit rehabilitiert werden.

Als generell förderlich gegenüber Fehlern im Lernprozess gelten die folgenden drei Haltungen bzw. die entsprechenden Verhaltensweisen:

- Den Schüler erleben lassen, wie man selbst eine Hürde überwindet
- Den Schüler damit Erfahrungen machen lassen, wie etwas nicht funktioniert
- Ein Klima der Fehler-Pflege schaffen

Einen Fehler selbst zu überwinden, bedeutet das Erfahren eines individuellen Lernfortschrittes. Irrwege und Probleme zeichnen sich dadurch aus, dass man nicht von Anfang an eine Lösung parat hat und der Weg zur Lösung meist mit Sackgassen und Fehlern verbunden ist. Das selbstständige Korrigieren von Fehlern führt zu Kompetenzerleben und geht mit positiven Gefühlen einher. Das Überwinden von Fehlern wirkt daher motivierend und führt zu einer vertieften Auseinandersetzung mit Lerninhalten. [8]

Wenn jemand Neues lernt und dabei Fehler macht, lernt er zuerst, wie etwas nicht ist bzw. nicht funktioniert. In der Lehr- und Lernforschung bezeichnet man dies als den Aufbau „negativen Wissens“. Negatives Wissen hat nicht nur eine Bedeutung für den Aufbau reichhaltiger und vernetzter Wissensstrukturen, es hat auch einen erheblichen Stellenwert für die Lernmotivation. Für das eigene Kompetenzerleben macht es einen entscheidenden Unterschied, ob man über eine Sache z. B. gar nichts weiß oder aber zumindest weiß, wie etwas nicht ist oder nicht funktioniert.

Ebenso wie Fehler – weil konstitutiv für den Erkenntnisfortschritt – in der Wissenschaft intensiv diskutiert werden, kann ein fehlerfreundliches Klima im Unterricht das Sprechen über Missverständnisse und Fehler beim Lernen erleichtern, mit der Lehrkraft wie mit den Mitschülern. Ein solcher Umgang mit Fehlern liegt gerade für die naturwissenschaftlichen Fächer nahe, da die systematische Überprüfung von Hypothesen zum Grundrepertoire des naturwissenschaftlichen Arbeitens gehört. Mögliche Lösungen werden auf logische Konsequenz geprüft und bei Bedarf experimentell verifiziert oder falsifiziert. In dieser Hinsicht sollten Fehler im naturwissenschaftlichen Unterricht geradezu „gepflegt“ werden.

Das so erworbene Wissen über das eigene Lernen hat auch eine wichtige motivationale Funktion: Durch die Aneignung verschiedener Such- und Lösungsstrategien wird das Kompetenzerleben und damit die Lernmotivation unterstützt. Langfristig kann dies zu einer Haltung gegenüber Problemstellungen führen, die sich durch Zuversicht auszeichnet – und, fachbezogen, zu einem deutlicheren Interesse für die Naturwissenschaften.

Als weitere für eine „positive Fehlerkultur“ förderliche Bedingungen im Unterricht können gelten [9]:

- Angenehmes Unterrichtsklima
- Freiräume für Fehler im Unterricht
- Sachliche und konstruktive Fehlerrückmeldung

Das Unterrichtsklima ist entscheidend dafür, ob sich Schülerinnen und Schüler ernst genommen und akzeptiert fühlen. Ein Gefühl der sozialen Einbindung erleichtert selbstbestimmtes Lernen und verringert die Hemmungen, Missverständnisse und Fehler offen zu zeigen. Die Lehrkraft kann durch ihr eigenes Auftreten entscheidend dazu beitragen, sowohl durch die persönliche Repräsentanz des Fachgebiets als auch durch eine Hinwendung zu den Schülerinnen und Schülern.

Eine zweite Bedingung für eine positive Fehlerkultur besteht darin, im Unterricht Freiräume für Fehler zu schaffen. Individualisierten Situationen wie Stillarbeits- und Gruppenarbeitsphasen sind dazu deutlich besser geeignet als Frontalunterricht. Besonders in einem eng geführten fragend-entwickelnden Unterricht werden fehlerhafte Antworten der Schüler häufig übergangen. [10]

Für motiviertes Lernen in Fehlersituationen ist schließlich eine sachliche und konstruktive Rückmeldung bedeutsam. Eine Fehlersituation stellt für einen Lernenden eine kritische Situation für das eigene Kompetenzerleben dar. Man erfährt in einer Fehlersituation mehr oder weniger offensichtlich, dass man etwas falsch verstanden oder fehlerhaft ausgeführt hat. Die Art der Rückmeldung ist ein entscheidender Faktor dafür, dass Schüler sich in einer solchen Situation nicht als grundsätzlich inkompetent erleben.

Eine besondere Bedeutung für die Fehlerfreundlichkeit des Lernens kommt, über die oben genannten Faktoren hinaus und diese ergänzend, dem Umgang mit Alltags- und Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht zu. Für die Lehrenden gilt es, sich dreier Ebenen bewusst zu werden und ihr Sprachhandeln im Unterricht darauf hin zu reflektieren:

1. Sprache gilt als „Transportmittel“ für Inhalte, ist aber allenfalls ein „Konstruktionsmittel“: Neurophysiologie und Lernpsychologie zeigen, dass außer „sinnlosen“ Signalen nichts in den Kopf des Schülers transportiert werden kann. Der Schüler selbst muss die Bedeutungen der Signale und die semantischen Strukturen in seinem eigenen Kopf konstruieren. Wiederholte Verweise auf eine fachlich angemessene Begriffsverwendung bleiben so lange ohne Wirkung bzw. stellen sich als demotivierend für das Lernen heraus, wie der entsprechende Sachverhalt nicht im Ansatz verstanden und die Bedeutung der betreffenden Begriffe nicht zumindest teilweise erfasst ist. [11]
2. Da die Bedeutung eines Begriffs erst beim Schüler konstruiert werden kann, kann ein Begriff oder eine naturwissenschaftliche Aussage nicht präziser verstanden werden, als es die individuelle Denkstruktur zulässt. „Begriffe, die in dem Sinne ‚präzise‘ sind, dass ihnen nur eine scharf umrissene Bedeutung zugeordnet werden darf, sind für den Lernprozess von geringem Wert, weil sie subjektiv keine neuen Inhalte konstituieren, sondern nur bereits Bekanntes ordnen oder aber nicht verstanden werden.“ [12, S. 250]
3. Exakte Begriffe sind zur Ordnung des Verstandenen gedacht. Gerade die Vagheit der Alltagssprache ist Voraussetzung und Mittel für Verstehen. Das entbindet die Lehrkräfte zwar nicht von der traditionellen Forderung, sich möglichst klar auszudrücken und wenig gefestigte Begriffe nicht parallel in verschiedenen Bedeutungen zu benutzen; akzeptieren muss man jedoch zugleich die Tatsache, dass die Sprache im naturwissenschaftlichen Unterricht durchgängig ein Konglomerat aus Alltagssprache und Fachsprache ist, angereichert mit Assoziationen, Analogien und vermeintlich fehlerhaften Interpretationen.

Besonders für das Verstehen und die Festigung von Begriffen und Vorstellungen ist es daher wichtig, Lernsituationen so zu gestalten, dass Freiräume auch für „sprachliche Fehler“ eingeräumt werden. Gleichzeitig muss die Lehrkraft versuchen herauszufinden, was die Lernenden eigentlich meinen, wenn sie Begriffe benutzen, die in Alltag und Naturwissenschaft verschieden aufgeladene Bedeutungen haben.

Ein Beispiel ist der Begriff Lösen. „Etwas löst sich in Luft auf“ ist die Ausdrucksweise für einen abhanden gekommenen Gegenstand oder für eine verschwundene Person. Die Vorstellung des Verschwindens wird auch herangezogen, wenn sich eine feste Substanz in einer Flüssigkeit aufgelöst hat, auch wenn das gelöste Salz im Wasser noch zu schmecken ist. Was ich nicht mehr sehen kann, ist nicht mehr vorhanden. Weil man das Salz als weißes, kristallines Pulver nicht mehr sehen kann, hat es aufgehört zu existieren, es hat sich aufgelöst.

Aufgaben für die Fachschaft

Fehler als Chancen für das Lernen zu nutzen, kann in vielfältiger Weise Thema für die Arbeit im Fachkollegium sein. Will man sich der Thematik erst in kleinen Schritten nähern, dann eignen sich die unterschiedlichen methodischen Ansätze zum ganz praktischen Umgang mit Fehlern. Am anderen Ende der Skala steht die Weiterentwicklung von Unterricht insgesamt in dem Sinne, dass den Schülerinnen und Schülern mehr Raum

für individuelles Arbeiten und Lernen zur Verfügung gestellt wird, wodurch auch ein konstruktiver Umgang mit Fehlern in Reichweite kommt. Die im Folgenden zusammengestellten Vorschläge ersetzen daher nicht das Programm, das sich eine Fachschaft auf diesem Weg selbst geben muss. Kooperation und offener Austausch über das Erreichte wie auch über Fehlschläge sind dabei unverzichtbar.

Methodische Vorschläge [nach 13]

Fehler-Knowhow bezeichnet methodisches Wissen zur Fehlersuche und -behebung.

- Rechenproben sind seit jeher Bestandteil des Mathematikunterrichts, sie bewahren vor Flüchtigkeitsfehlern; besonders im Physikunterricht können sie helfen, Ausführungsfehler zu korrigieren.

- Erhaltungsproben dienen der Kontrolle von Aufgaben, wo Größen oder Mengen umverteilt werden und dabei die Gesamtgröße oder -menge erhalten bleibt:

In der Chemie muss „die Stöchiometrie stimmen“: auf beiden Seiten einer Reaktionsgleichung müssen gleiche Anzahlen von Teilchen stehen. In der Physik müssen sich die Ströme in den Parallelzweigen eines Stromkreises zum Gesamtstrom addieren.

Die ausgeglichene Bilanz für Erhaltungsgrößen (Teilchen, Masse, Energie, Impuls, Ladung etc.) ist ein grundlegendes Prinzip der gesamten Naturwissenschaften. Wenn man immer wieder auf das Gemeinsame dieser Denkform in verschiedenen Kontexten hinweist, liefert man nicht nur eine einsichtige Begründung für Erhaltungsproben, sondern hilft auch bei der Festigung von Vorstellungen und Begriffen.

- Dimensions- und Größenordnungsproben sind für die Fehlerkontrolle ähnlich breit einsetzbar. Größenordnungsproben sind allerdings erst dann sehr leistungsfähig, wenn schon ein gewisses Gefühl für ein Stoffgebiet erreicht ist.

Wenn bei der Berechnung der Stromstärke in einer Taschenlampe 20 Ampere herauskommen, ist eine Größenordnungprobe angesagt. Neben der rechnerischen Behandlung kann auch eine Art Größenprotokoll geführt werden, in das die Schülerinnen und Schüler typische Werte für die behandelten physikalischen Größen am Beispiel von Gegenständen und Erscheinungen des Alltags eingetragen: z.B. 1 nA für die Ströme in einer Nervenzellmembran, ca. 300 mA für die Taschenlampe und bis 100 kA für einen Blitz. So kann ein Gefühl dafür eingeübt werden, was für eine bestimmte Größe „groß“ und „klein“ bedeutet.

- Auch das Benutzen von Nachschlagequellen kann hilfreich sein für Fehlersuche und -verbesserung. Zu thematisieren und zu üben sind das Wo und Wie des Findens sowie Anhaltspunkte für die Relevanz einer Information bzw. einer Quelle.

Benotung von Fehlerarbeit

Um die Demotivation durch Fehler und die entsprechende Bewertung zumindest teilweise aufzufangen, kann die Verbesserung von Klassenarbeiten in die Benotung einbezogen werden, entweder durch Bewertung der Verbesserung als Ganzes oder durch Berücksichtigung der Nacharbeit an einigen besonders markierten Fehlern. Damit kann sich aus einer schlechten Leistung die Chance zu einer guten entwickeln.

Ein solches Benotungsverfahren unterstützt eine pädagogisch wünschenswerte Arbeitshaltung: dass nämlich geistige Arbeit nicht nach einem ersten Versuch und dem Verbessern der Fehler abgeschlossen ist, sondern notwendig echtes Nachdenken über diese Fehler beinhaltet, ggf. auch einen zweiten und weitere Zyklen von Versuch und Irrtum.

Fehlerkartei

In eine Fehlerkartei, die von jedem Lernenden selbst geführt wird, können die wichtigsten Fehlertypen und -ursachen samt Datum, Stoffgebiet u.a. eingetragen werden. Auch das Führen dieser Fehlerkartei kann in die Benotung miteinbezogen werden und so deutlich machen, dass Arbeit an Fehlern belohnt wird. Die Fehlerkartei kann u.U. auch in Klassenarbeiten benutzt werden.

Fehlerwettbewerbe

Unter dem Motto „Der intelligenteste Fehler der Woche“ lassen sich charakteristische Fehler produktiv nützen, indem gezeigt wird, wo für die richtige Lösung um- oder weitergedacht werden muss. Vermieden werden muss dabei, den Urheber des Fehlers bloßzustellen, was ja gerade kontraproduktiv wäre, indem der intelligente Fehler z.B. erst anonym vorgestellt wird, und der Produzent sich selbst zu erkennen gibt, wenn er will.

Fehlerspiele, Fehlereinkleidung, Fehlerübersetzung

Eine Möglichkeit zur Arbeit an eigenen Fehlern besteht darin, dass diese spielerisch neu eingekleidet oder anschaulich übersetzt werden. Bei einem Größenordnungsfehler – Strom in einer Taschenlampe – kann zur Verdeutlichung des Größenunterschiedes zur wirklichen Stromstärke jedes Ampere, z.B. symbolisiert durch einen roten Blitz, „einzeln“ angezeichnet werden; oder das Verhältnis von richtiger und falscher Angabe wird in „Monatsgehälter“ übersetzt, einmal realistisch, das andere Mal in Fantasihöhe.

Arbeiten in Fehlergruppen

Eine Angst mindernde Möglichkeit der Beschäftigung mit den eigenen Fehlern besteht darin, Schülerinnen und Schüler mit gleichartigen Fehlertypen in Gruppen zusammen arbeiten zu lassen. Solche Gruppen können ebenso für Größenordnungsfehler eingerichtet werden wie auch für Lernende, die häufig Flüchtigkeitsfehler machen.

Für die Aufarbeitung von charakteristischen Fehlern nach Klassenarbeiten können ausgewählte Schülerarbeiten auszugsweise kopiert, anonymisiert und dann in Kleingruppen gegeben werden. [14] Die Aufklärung der Fehler kann durch Musterlösungen ebenso unterstützt werden wie durch eine Liste mit Problemlösungsstrategien (Anhang 1). Anstelle einer Aufklärung der Fehler kann auch die Charakterisierung des Fehlers als Planungsfehler oder Ausführungsfehler als Aufgabe gegeben werden. Die Gruppenergebnisse können dann auf Folie notiert und im Plenum diskutiert werden.

Aus fremden Fehlern lernen

Das Problem der Demotivation kann weiter dadurch entschärft werden, dass fremde Fehler als Lerngelegenheit herangezogen werden. Es ist sehr viel befriedigender, als Detektiv einen fremden Fehler aufspüren zu können, als sich mit den eigenen Misserfolgen beschäftigen zu müssen. Lernen aus fremden Fehlern spielt für das Lernen auch auf der Ebene des Verstehens eine große Rolle, indem typische Möglichkeiten von Fehlern und Fehlersuche erkannt werden, und sowohl auf die Verbesserung wie die Vermeidung eigener Fehler übertragen werden.

Die Suche nach fremden Fehlern kann auch als Wettbewerb organisiert werden, etwa unter dem Motto „Wer findet die meisten Fehler?“, auch als Aufgabenstellung für Gruppen.

Lernende können Schülerfehler aus anderen Jahrgängen als etwas für ihre eigene Situation sehr Typisches erkennen.

Texte mit gezielt konstruierten Fehlern können im Schwierigkeitsgrad und in anderer z.B. kontextueller Hinsicht in weiten Grenzen variiert werden und eignen sich daher zur spezifischen Aufarbeitung konkreter Probleme.

Fehlerhafte reale Texte aus Zeitungen oder Büchern weisen große Lebensnähe auf und können wie die konstruierten Texte im Anspruch angepasst und gesteigert werden.

Anregungen bieten einschlägige Sammlungen von Beispielen für naturwissenschaftliche Fehler in Realtexten von Zeitungs- bis Lehrbuchniveau:

- Für den Chemieunterricht gibt Toby [15] eine Zusammenstellung von interessanten Fehlern in Zeitungsartikeln.
- Für den Physikunterricht finden sich einschlägige Beispiele in [3] sowie in einer speziellen Rubrik der amerikanischen Lehrerzeitung „The Physics Teacher“.
- Eine interessante Quelle sind auch populärwissenschaftliche Bücher mit vermeintlichen naturwissenschaftlichen Paradoxien, die alle auf versteckten Fehlschlüssen beruhen. Die Analyse dieser Fehlschlüsse ist sehr lehrreich, und oft lassen sie sich auch in Teilaufgaben zerlegen, die von Schülerinnen und Schülern selbständig bearbeitet werden können.

Maßnahmen zum Lernen aus Fehlern im engeren Sinn

Unterrichten von Fehlerknowhow

Benotung von Fehlerarbeit

Fehlerkartei

Fehlerwettbewerbe

Fehlerspiele, Fehlereinkleidung, Fehlerübersetzung

Arbeiten in Fehlergruppen

Aufgaben zum Lernen aus Fehlern:

Schülerfehler aus anderen Jahrgängen

Texte mit gezielt konstruierten Fehlern

Reale Texte (Zeitung, Bücher, etc.)

Sammlungen von Trugschlüssen und Paradoxien

Auseinandersetzung mit den vorwissenschaftlichen Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler [nach 16]

Neben der gemeinsamen Planung und Erprobung von methodischen Ansätzen zum Lernen aus Fehlern im engeren Sinn stellt auch die Auseinandersetzung mit den vorwissenschaftlichen Vorstellungen der Lernenden einen lohnenden Ansatzpunkt für die Arbeit im Fachkollegium dar. So kann bezogen auf eine Jahrgangsstufe, einen Fachschwerpunkt oder eine konkrete Unterrichtseinheit überlegt werden, welche Medien vorzugsweise eingesetzt werden können (Bilder, Experimente, Modelle, Illustrationen usw.), um an den Alltagsvorstellungen der Schüler anzuschließen und zugleich darüber hinaus zu gelangen; ebenso können Aufgaben zur Erarbeitung, Festigung und Übung gemeinsam entwickelt

werden, die sich gezielt auf Alltagsvorstellungen beziehen, dann aber den Vorteil der fachspezifischen Herangehensweise für die Schüler erkennbar werden lassen.

Der Aufbau kohärenter Wissens- und Kompetenzbereiche kann aber nicht nur auf der Sachebene unterstützt werden, vielmehr bedarf es der Berücksichtigung übergreifender Prinzipien der Unterrichtsgestaltung. Deren Realisierung kann wiederum ebenfalls im Rahmen der Fachschaftsarbeit vorbereitet und begleitet werden:

- Aktive Auseinandersetzung mit Problemen und Themen anregen
Weil Lernen als Aneignungs- und Konstruktionsprozess stattfindet, müssen die Lernenden so oft wie möglich Gelegenheiten haben, sich intensiv und aktiv mit den Inhalten auseinanderzusetzen. Insbesondere Formen des eigenständigen und kooperativen Arbeitens (Partnerarbeit, Gruppenpuzzle o.ä.) [vgl. 17, 18] sind geeignet, diese intensive Auseinandersetzung zu ermöglichen. Wichtiges Element in diesem Prozess ist die Reflexion über das eigene Wissen, das neu erworbene, die eigenen vorwissenschaftlichen Vorstellungen sowie über den durchlaufenen Lernprozess.
- Die Fähigkeit zum Konzeptwechsel entwickeln und reflektieren
Ähnlich wie bei einer Fremdsprache fügen sich beim naturwissenschaftlichen Blick auf die Welt erst mit der Zeit die einzelnen Elemente zu einem kohärenten Interpretationsmuster zusammen. Angesichts der Dominanz von vorwissenschaftlichen Sichtweisen bedarf es der häufigen Übung der neuen Sichtweise an möglichst vielen Gegenständen und in verschiedenen Kontexten.
- Kontextgebundenheit der Vorstellungen thematisieren
Vorwissenschaftliche Vorstellungen haben ihren Sinn im Alltag und bieten dort für das Verstehen naturwissenschaftlicher Phänomene eine ausreichende Orientierung. Im naturwissenschaftlichen Unterricht sollen dagegen fachwissenschaftliche Konzepte zur Erklärung herangezogen werden. Den Lernenden muss diese Kontextgebundenheit der alltagsweltlichen und naturwissenschaftlichen Vorstellungen bewusst gemacht werden, indem immer wieder aufgezeigt und thematisiert wird, was welche Konzept in welchen Kontexten leisten und was nicht.
- Eigene Alltagsvorstellungen hinterfragen
Hilfreich für diesen Differenzierungs- und Reflexionsprozess kann es sein, wenn auch die Lehrkräfte die eigenen Vorstellungen zu den jeweiligen Themenbereichen hinterfragen. Wer feststellt, dass er selbst in vieler Hinsicht in Alltagsvorstellungen „gefangen“ ist, wird mehr Verständnis für die Lernenden aufbringen, die erst noch lernen müssen, die naturwissenschaftliche Brille zum richtigen Zeitpunkt aufzusetzen.

Eine gut strukturierte Hilfe für die Auseinandersetzung mit dem Verhältnis von Sprache und naturwissenschaftlichem Unterricht bietet die nachstehende Zusammenstellung, die ursprünglich für den Physikunterricht formuliert worden ist. [11] Jede Lehrkraft eines naturwissenschaftlichen Faches sollte im Auge behalten, dass für die Lernenden die Fachsprache wie eine Fremdsprache daherkommt, deren Nützlichkeit sich erst noch praktisch erweisen muss.

Grundsätze für die Kommunikation im naturwissenschaftlichen Unterricht

- Sprachlernen ist durchgängig eine Angelegenheit des naturwissenschaftlichen Unterrichts, weil Fachlernen und Sprachlernen nicht voneinander getrennt werden können und sich gleichzeitig entwickeln. (Prinzip der Gleichzeitigkeit von Fachlernen und Sprachlernen)
- Die Kommunikation im naturwissenschaftlichen Unterricht ist ein Prozess des Aushandelns und Austarierens von Bedeutungszuweisungen, indem mit und um Sprache gerungen wird. (Prinzip des Aushandelns)
- Die Kommunikation im naturwissenschaftlichen Unterricht sollte neben dem Inhaltsaspekt auch den Beziehungsaspekt im Auge haben. Die Qualität der Beziehung wird wesentlich durch die passende Sprache im passenden Ton beeinflusst. (Prinzip von der passenden Sprache im passenden Ton)
- Die Kommunikation im naturwissenschaftlichen Unterricht sollte durch passende Unterrichtsarrangements möglichst in die Hände der Schülerinnen und Schüler gelegt werden. Die Rolle des Lehrers ist die des Sprachmoderators und des Arrangeurs, der Ebenensprünge initiiert und immer neue Bedeutungszuweisungen eröffnet. (Prinzip von der sprachlichen Eigentätigkeit)
- Der Kommunikationsprozess im naturwissenschaftlichen Unterricht sollte sich die verschiedenen Ebenen der Repräsentation physikalischen Wissens zunutze machen, um viele Zugänge der Bedeutungszuweisung zu eröffnen. Prinzip von der Nutzung der Darstellungsformen

Verändert nach J. Leisen [11], S. 9

Literatur

- [1] BLK (Hrsg.): Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“. Materialien zur Bildungsplanung und zur Forschungsförderung, Heft 60. Bonn 1997
- [2] J. Reason: Menschliches Versagen. Heidelberg 1994
- [3] Aus Fehlern lernen. Themenheft der Zeitschrift Praxis der Naturwissenschaften / Physik in der Schule, 52. Jg., Heft 1/2003, hrsg. von W. Kuhn. Darin insbes.: A. Müller: Fehlertypen und Fehlerquellen beim Physiklernen. S. 11 - 17
- [4] M. Piatelli-Palmarini: Die Illusion zu wissen. Reinbek 1997

- [5] W. Althof (Hrsg.): Fehlerwelten. Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern. Opladen 1999
- [6] F. Weinert: Neue Unterrichtskonzepte zwischen gesellschaftlichen Notwendigkeiten, pädagogischen Visionen und psychologischen Möglichkeiten. In: Wissen und Werte für die Welt von morgen. München: Bayerisches Staatsmin. für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst. 1998, S. 101-125
- [7] F. Oser, T. Hascher: Lernen aus Fehlern. Schriftenreihe zum Projekt "Lernen Menschen aus Fehlern? Zur Entwicklung einer Fehlerkultur in der Schule", Nr. 1, Freiburg/CH 1997
- [8] U. Schiefele, L. Schreyer: Intrinsische Lernmotivation und Lernen. Ein Überblick zu Ergebnissen der Forschung. In: Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 8/1994 (1), S.1-13
- [9] M. Prenzel, B. Drechsel, A. Kliewe, K. Kramer, N. Röber: Lernmotivation in der Aus- und Weiterbildung: Merkmale und Bedingungen. In: C. Harteis, H. Heid, & S. Kraft (Hrsg.): Kompendium Weiterbildung. Aspekte und Perspektiven betrieblicher Personal- und Organisationsentwicklung. Opladen 2000, S. 163-173
- [10] T. Seidel: Lehr-Lernskripts im Unterricht. Freiräume und Einschränkungen für kognitive und motivationale Prozesse beim Lernen - eine Videostudie im Physikunterricht. Münster 2003
- [11] J. Leisen: Muss ich jetzt auch noch Sprache unterrichten? In: Unterricht Physik – Themenheft „Sprache“, Nr. 87 (2005), S. 4- 9
- [12] H. Muckenfuß: Lernen im sinnstiftenden Kontext. Berlin 1995, S. 248 u. 250
- [13] A. Müller: Aus eigenen und fremden Fehlern lernen – Arbeitsformen und Unterrichtsideen. In [3], S. 18- 21
- [14] K. Rincke: Aus Fehlern lernen. In [17] Unterricht Physik, 15/2004, Heft 84, S. 38- 41
- [15] S. Toby: Chemistry in the public domain: A plethora of misinformation – don't believe everything you read in the newspapers. J. of Chem. Ed. 74 (1997), 1285 - 1287
- [16] P. Häußler, W. Bündler, R. Duit, W. Gräber, J. Mayer: Naturwissenschaftsdidaktische Forschung. Perspektiven für die Unterrichtspraxis, Kiel 1998, S. 198ff.
- [17] „Kooperativ Lernen“, Unterricht Physik Nr. 84 (2004), hrsg. von R. Hepp, A. Krüger, R. Wodzinski
- [18] „Kooperative Lernformen“, Unterricht Chemie Nr. 88/89 (2005), hrsg. von I. Eilks, L. Stäudel

Anhang 1: Arbeitsblatt „Problemlösestrategien“

UNTERSUCHE DIE AUFGABE.

- Gib an, was bekannt, gegeben ist.
- Gib an, wonach gesucht ist.
- Gib an, was für eine direkte Lösung fehlt.
- Gib an, wie eine Lösung lauten könnte.
- Gib an, welche Zusammenhänge in der Problemstellung unklar sind.
- Betrachte früher bearbeitete Problemstellungen, die ähnlich waren. Vergleiche sie mit der aktuellen Problemstellung: Was haben sie gemeinsam, was unterscheidet sie?

STELLE DAS PROBLEM BILDHAFT DAR.

- Fertige ein Bild an, das das Problem darstellt: Grafen, Skizzen, Hilfslinien, Hilfsfiguren.

VERÄNDERE DIE ARBEITSRICHTUNG.

- Arbeite vorwärts: Ziehe aus den gegebenen Informationen Schlüsse. Wenn nicht gleich zielgerichtete Schlussfolgerungen/Umformungen erkennbar sind, probiere mögliche oder zulässige Schlussfolgerungen/Umformungen.
- Arbeite rückwärts: Gehe probeweise von dem Ziel aus und führe Umformungen durch, bis ein Zusammenhang zu den gegebenen Informationen erkennbar ist.
- Noch effektiver kann es sein, beide Arbeitsrichtungen zu kombinieren.

VERÄNDERE DIE VORAUSSETZUNGEN.

- Verändere die Frage etwas und untersuche, ob die veränderte Frage leichter zu beantworten ist.

GEHE ZU BENACHBARTEN PROBLEMEN ÜBER.

- Triff Aussagen wie: ... ist spezieller als ..., ... ist allgemeiner als ..., ... ist einfacher als ..., ... ist komplizierter als ...

UNTERTEILE DAS PROBLEM IN MEHRERE SCHRITTE.

- Unterteile die Aufgaben in mehrere Teilprobleme. Verwende Hilfskonstruktionen, Hilfslinien, Hilfsansätze.
- Untersuche, ob es Teilprobleme gibt, die nacheinander und nicht gleichzeitig bearbeitet werden müssen.

STELLE DAS PROBLEM SYMBOLHAFT DAR.

- Führe Variable ein.
- Stelle ein Gleichungssystem auf.

GEHE INDUKTIV VOR.

- Untersuche einzelne Beispiele, die zur Problemstellung passen.
- Betrachte verwandte Aufgaben.
- Nähere dich der Lösung, indem du mehrere Einzelbeispiele untersuchst.

SCHAUE KREATIV ZURÜCK.

- Suche nach Möglichkeiten, das Ergebnis auf andere Weise zu begründen oder zu kontrollieren.
- Denke dir eine andere Aufgabe aus, bei der sich das Verfahren auch anwenden lässt.
- Überprüfe, ob das Ergebnis deiner Vermutung entspricht.
- Erkläre mögliche Widersprüche zwischen dem Ergebnis und den vorher aufgestellten Vermutungen.

Nach: K. Rincke: Aus Fehlern lernen. In: Unterricht Physik 15/2004, Heft 84, S. 40

Anhang 2: Vorunterrichtliche Vorstellungen – Übersicht und Hinweise für den Umgang damit

(unter Verwendung der Ausführungen von Martina Nieswandt in der Handreichung zum Modul 3 von 1998)

Vorunterrichtliche Vorstellungen speisen sich aus vielen Quellen (Häußler et al., 1998, S. 176):

- Alltagserfahrungen im Umgang mit Phänomenen wie Bewegung, Wärme, Licht, und dgl.
- Alltagssprache
- Gespräche im Alltag, Lesen von Büchern, Konsumieren von Produkten der Massenmedien
- Vorangegangener Unterricht

Sie sind zum Teil persönliche Konstrukte, zum anderen Teil erwachsen sie aus einer gemeinsamen (kulturellen) Sichtweise und werden durch eine gemeinsame Sprache vermittelt.

...

Auch wenn alle Beteiligten überzeugt sind, dass ein naturwissenschaftliches Konzept verstanden ist, treten in der Praxis immer wieder Situationen auf, in denen die Schülerinnen und Schüler wieder auf vorunterrichtliche Vorstellungen zurückgreifen. Es scheint, dass die wissenschaftlichen Konzepte die vorunterrichtlichen (Alltags-) Vorstellungen lediglich überlagern und nur in bestimmten Kontexten zur Erklärung naturwissenschaftlicher Phänomene herangezogen werden. Um dieses Phänomen besser zu verstehen, hilft ein Blick darauf, wie Lernen stattfindet.

Auf Basis einer konstruktivistischen Sichtweise des Lernens (Duit, 1996) wird Wissenserwerb im naturwissenschaftlichen Unterricht als aktive Konstruktion des Einzelnen auf der Grundlage ihrer/seiner vorhandenen Vorstellungen betrachtet. Der dargebotene Lehrstoff wird also nicht passiv übernommen, sondern interpretiert. Die Lernenden wählen aus der Fülle des von der Lehrkraft Präsentierten (alle bewussten und unbewussten Äußerungen) dasjenige aus, dem sie eine Bedeutung zumessen können und verleihen dem Präsentierten im Rahmen ihrer bisherigen Vorstellungen eine eigene, individuell akzentuierte Bedeutung. Das im Unterricht Präsentierte hat somit für die Lehrkraft eine andere Bedeutung als für die einzelne Schülerin und den einzelnen Schüler, da diese aufgrund ihrer bisherigen Vorstellungen die neuen Informationen anders wahrnehmen, aufnehmen und interpretieren. Missverständnisse und/oder tief greifende Lernschwierigkeiten können daraus resultieren und somit ein verstehendes Lernen verhindern. Ein Beispiel aus dem Bereich der Chemie zur Einführung der Teilchenhypothese:

Die Lernenden erörtern zunächst Erfahrungen, die sie mit verdunstendem Wasser gemacht haben und sammeln dann neue schnell verdunstende Substanzen, z.B. Isopropanol oder Aceton, die von Uhrgläschen verschwinden, aber in der ganzen Klasse zu riechen sind. Sie erleben weiterhin, wie verdunstendes Benzin sich in einer Rinne abwärts bewegt, so dass, wenn es

unten ankommt, eine Flamme die Rinne hinaufläuft. Weitere Verdunstungs-, Verdampfungs- und Diffusionsreaktionen geben den Schülerinnen und Schülern eine breite Basis für die Frage nach einer Erklärung dieser Phänomene. Einige Jugendlichen meinen, dass die verdunstenden oder verdampfenden Substanzen Teilchen bilden, die sich in größeren Raumgebieten verteilen. Die Lehrkraft mag zufrieden mit dieser Antwort sein und möglicherweise den Begriff „Molekül“ für diese Teilchen einführen. An dieser Stelle ist jedoch nicht klar erkennbar, ob die Lernenden mit dem Terminus „Teilchen“ das gleiche meinen wie die Lehrkraft. Die Lernenden können zwar den Terminus Teilchen benutzen, stellen sich aber darunter kleine Teile eines Kontinuums vor, die mit dem bloßen Auge nicht mehr zu sehen sind; wabernde kleine Teile, die sich im Raum ausbreiten. Wird die Lehrkraft nicht an dieser Stelle gezielt nachfragen, was die Lernenden unter Teilchen verstehen oder sie vielleicht ihre Vorstellung von den kleinsten Teilchen malen lässt, dann kann es sein, dass Lehrkraft und Schülerinnen und Schüler aneinander vorbeireden, unterschiedliche Vorstellungen haben.

Die gespeicherte Wissensstruktur lässt sich ähnlich wie ein Netz vorstellen, bei dem die einzelnen Begriffe oder Konzepte die Knoten darstellen und so auf vielfältige Weise miteinander verbunden sind. Die Bedeutung eines Begriffs für den Einzelnen ergibt sich aus dem Kennzeichen des Begriffs und seiner Vernetzung mit anderen Begriffen. Lernen heißt dann, das Netz zu verändern. Das kann beispielsweise eintreten, wenn neue Begriffe hinzukommen und sich neue Verbindungen zu bereits vorhandenen Begriffen bilden, das Netz somit wächst oder erweitert wird. In der Literatur findet sich für diesen Vorgang häufig der Terminus „Konzeptwachstum“ (Duit, 1996). Wenn die vorunterrichtlichen Vorstellungen der Lernenden und die neuen naturwissenschaftlichen Konzepte sehr unterschiedlich sind, muss das Netz nicht nur erweitert, sondern grundlegend umgestaltet, neu strukturiert werden. In diesem Fall wird von „Konzeptwechsel“ gesprochen (Duit, 1996).

Es geht aber beim Lernen keinesfalls um das Austauschen des einen Begriffs oder Konzepts durch das andere. Vielmehr sollte es Ziel des Unterrichts sein, die Lernenden davon zu überzeugen, dass die naturwissenschaftlichen Vorstellungen in bestimmten Situationen angemessener und fruchtbarer sind als die vorunterrichtlichen (Alltags-) Vorstellungen.

Vorunterrichtliche Vorstellungen in den natur-wissenschaftlichen Fächern

Duit (in Häußler et al., 1998, S. 177f) unterscheidet zwischen ad-hoc-konstruierten, spezifischen und allgemeinen Vorstellungen.

- Ad-hoc-konstruierte Vorstellungen treten dann auf, wenn die Lernenden mit einem Phänomen konfrontiert werden, zu dem sie bisher noch keine speziellen Vorstellungen entwickelt haben. Da sie nicht tief verankert sind, können sie auch leicht geändert werden.
- Spezielle Vorstellungen gelten für spezifische Phänomene. So haben beispielsweise einige Schülerinnen und Schüler die Vorstellung, dass eine elektrische Glühlampe nur deshalb leuchtet, weil ein Plus- und Minuspol in der Lampe aufeinanderprallen und es dabei Funken gibt.

- Allgemeine Vorstellungen sind dagegen umfassender und da sie meistens tief im Alltagsdenken verhaftet sind, schwerer veränderbar. Ein Beispiel aus der Physik ist die Vorstellung der Lernenden, dass Dinge oder Begriffe Träger von Eigenschaften sind. So wird Farbe in der Physik als eine Wechselwirkung zwischen dem einfallenden Licht und den Eigenschaften der Oberfläche des Körpers angesehen. In der Alltagsvorstellung ist Farbe jedoch eine Eigenschaft des Gegenstandes an sich.

Zu den allgemeinen Vorstellungen gehören auch Vorstellungen der Lernenden zur Natur und Reichweite naturwissenschaftlichen Wissens. Das naturwissenschaftliche Wissen wird häufig als ein getreues Abbild der Wirklichkeit und nicht als eine menschliche Konstruktion, die auf die Wirklichkeit passt angesehen.

Beispiele für vorunterrichtliche Vorstellungen zu naturwissenschaftlichen Phänomenen [nach Häussler u.a., 1998]

In den folgenden Abschnitten werden einige vorunterrichtliche Vorstellungen der Lernenden behandelt, die alle zu den allgemeinen Vorstellungen gezählt werden und die zu Lernschwierigkeiten in der Sekundarstufe I beitragen können. Die nachfolgende Zusammenstellung kann für die Fachschaft als Anregung und als Diskussionsgrundlage zur Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen in den naturwissenschaftlichen Fächern dienen.

Vorunterrichtliche (Alltags-) Vorstellungen im Biologieunterricht

Untersuchungen haben gezeigt, dass Kinder im Anfangsunterricht Biologie einen anderen Begriff vom „Tier“ haben als die allgemein in biologischen Kreisen üblichen (vgl. z.B. Bell, 1981). Sie zählen zu dieser Kategorie vor allem die ihnen vertrauten Tiere, also vorwiegend Haustiere. Die Übernahme der biologischen Klassifikationen fällt den Lernenden schwer und ist ein mühsamer und langsamer Lernprozess. In einer Untersuchung mit Schülerinnen und Schülern vom 4. bis zum 8. Schuljahr konnten Kattmann und Schmitt (1996) zeigen, dass die Jugendlichen die Tiere vor allem nach Kriterien von Lebensraum und Fortbewegungsweise ordneten, also im Sinne einer natürlichen Verwandtschaft, und diese Kriterien auch im Verlauf der Schulzeit beibehielten, obwohl sie im Biologieunterricht die biologisch-taxonomischen Kategorien erlernten.

Vererbung und Evolutionslehre

In beiden Gebieten fällt es Schülerinnen und Schüler schwer, die biologischen Vorstellungen zu übernehmen. Trotz Unterrichtsbemühungen können sie Gene und Merkmale nicht hinreichend unterscheiden, begreifen Vererbung als direkte Weitergabe von Eigenschaften, sehen Anpassung als individuelle Reaktion auf veränderte Umweltbedingungen an und verstehen Selektion als Veränderung an Individuen und nicht als Häufigkeitsverschiebung von Anlagen innerhalb einer Population. Die Rolle der Variabilität von Merkmalen innerhalb einer Population, die Bedeutung der genetischen Vielfalt, wird somit von den Lernenden nicht verstanden. Auch die Rolle des Zufalls in Selektionsprozessen wird von vielen Jugendlichen nicht akzeptiert, was darauf hinweist, dass sie von einer tief verankerten teleologischen Vorstellung geprägt sind (Wandersee et al., 1995).

Vorunterrichtliche (Alltags-) Vorstellungen im Chemieunterricht

Teilchenmodell

Sowohl im Chemie- als auch im Physikunterricht hat das Teilchenmodell eine zentrale Stellung. Doch Schülerinnen und Schüler haben einige Schwierigkeiten mit der Vorstellung, dass alle Dinge aus kleinen Teilchen bestehen, die sich unablässig bewegen (Duit, 1992); sie favorisieren dagegen die Kontinuumsvorstellung, insbesondere für den Aufbau der Feststoffe und Flüssigkeiten. Es zeigt sich, dass die Lernenden diese Vorstellung auch beibehalten, wenn sie im Unterricht in den Aufbau der Stoffe aus Teilchen eingeführt wurden oder aber sie besitzen „vermischte“ Vorstellungen, die zwischen Teilchen- und Kontinuumsvorstellung liegen. So haben sie beispielsweise keine Probleme mit der Vorstellung, dass beim Verdunsten von Flüssigkeiten und der Auflösung von Salzen in Wasser Teilchen entstehen, die aber nicht vorgebildet waren. Beim Kondensieren und Kristallisieren entstehen folglich wieder fugenlose Kontinua. Akzeptieren die Jugendlichen einen Aufbau aus Teilchen für gasartige Stoffe, dann sind für sie die Teilchen in Luft eingebettet. Die Vorstellung, dass die Teilchen in unablässiger Bewegung sind, fällt vielen Schülerinnen und Schülern ebenfalls schwer. Dieses widerspricht der Alltagserfahrung, denn dort kommt jede Bewegung nach einer gewissen Zeit in Ruhe, es sei denn sie wird dauernd wieder angetrieben. Um den Jugendlichen die Welt der Teilchen verständlich zu machen, werden im Unterricht oder in Schulbüchern oft Vergleiche mit Dingen aus der Alltagswelt herangezogen. Diese Vorgehensweise führt häufig zur Vorstellungen, dass die Teilchen die gleichen Eigenschaften haben wie die makroskopischen Stoffe. So sind beispielsweise für die Lernenden die kleinsten Teilchen von Kupfer rot und verformbar, die von Schwefel gelb und pulverförmig oder die von Wasser flüssig und farblos.

Vorstellungen zu Stoffumbildungen

Alltagsvorstellungen der Lernenden zu stofflichen Veränderungen lassen sich aus der Vielzahl von Untersuchungen zusammenfassend in drei verschiedene Vorstellungen differenzieren:

1. Stoffliche Veränderungen werden als Änderungen der Eigenschaften der Stoffe gedeutet.

So gehen die Lernenden davon aus, dass Substanzen Träger von Eigenschaften sind und diese Eigenschaften sich ändern können, ohne dass die Substanz sich wesentlich ändert. Ein Beispiel für diese Vorstellung ist die Aussage von Lernenden nachdem sie Kupfer mit dem Bunsenbrenner an der Luft erhitzt haben: „Das Kupfer ist schwarz geworden.“ Chemisch gesehen ist diese Aussage falsch. Stoffe haben konstante Eigenschaften und werden an diesen erkannt. Tritt eine Eigenschaftsänderung auf, in diesem Beispiel eine Farbänderung, so ist sie ein Indiz für einen neu entstandenen Stoff.

2. Stoffliche Veränderungen werden bei chemischen Reaktionen als Ergebnisse von Mischungen und Entmischungen der Stoffe gedeutet (Pfundt, 1982b; Andersson, 1986, 1990; Hesse & Anderson, 1992; Johnson, 1997).

Diese Vorstellung wird vor allem dann herangezogen, wenn aus einer irgendwie behandelten Stoffportion etwas entweicht. Die Aussage eines 17jährigen deutschen Schülers in seinem dritten Jahr Chemieunterricht veranschaulicht diese Alltagsvorstellung besonders deutlich: „Der Formel nach müsste sich aus Kohlenstoffdioxid wieder Kohlenstoff herstellen lassen. Aber in Wirklichkeit ist es

natürlich unmöglich, aus einem farblosen Gas einen festen, schwarzen Stoff herauszuholen“ (Pfundt, 1975, S. 158).

3. Es gibt eine Art von Reaktionen, bei denen auch nach Meinung der Lernenden Stoffe wie Holz, Papier und Kohle wirklich verändert werden: bei Verbrennungen. Aber auch hier weicht die Alltagsvorstellung deutlich von dem wissenschaftlichen Konzept ab. So wird nach Meinung der Schülerinnen und Schüler der brennende Stoff entweder unwiederbringlich zerstört (Pfundt, 1975, 1982a; Driver, 1985; Ross, 1991) oder er verändert seinen Aggregatzustand. Die brennende Substanz erscheint dann als festes Produkt oder als Flüssigkeit (Tropfen, die nach Alkohol riechen). Zerstörung wird in diesem Kontext auch im Sinne einer Umwandlung der brennenden Substanz (Holz, Papier oder Kohle) in Asche verstanden. Das Abbrennen einer Kerze oder brennendes Plastik werden von den Lernenden hingegen als Schmelzvorgang gedeutet und brennender Alkohol als Verdampfen oder Verdunsten des Alkohols interpretiert (Meheut et al., 1985; BouJaoude, 1991; Prieto et al., 1992; Watson et al., 1997).

... Ohne naturwissenschaftliche Kenntnisse sind derartige Phänomene, ihre Auswirkungen auf die Lebenswelt und die Wechselwirkung mit anderen Lebensbereichen nicht zu erkennen und zu interpretieren. Naturwissenschaftlicher Unterricht kann einige Schlüsselkonzepte (z.B. Teilchenvorstellung, chemische Reaktion, Energiekonzept) vermitteln, die es dem Menschen ermöglicht, diese Zusammenhänge und ihre Ursachen zu erkennen. Ein umweltgerechtes Handeln – im Rahmen der eigenen Möglichkeiten – ist kaum möglich und wenig einsehbar, wenn kein grundlegendes Wissen über die naturwissenschaftlichen Zusammenhänge besteht. Warum sollen wir den Müll trennen, wenn beim Verbrennen doch das meiste verschwindet?

Vorunterrichtliche (Alltags-) Vorstellungen im Physikunterricht

Vorstellungen zum Sehen

Es lassen sich physikalische und biologische Alltagsvorstellungen zum Sehen unterscheiden. Die „biologische“ Sehvorstellung der Lernenden ist fundamental verschieden von der Sicht der Physik. Im Allgemeinen akzeptieren die Jugendlichen noch, dass ein selbstleuchtender Gegenstand wie ein Lampe Licht aussendet, aber dass alle Gegenstände, die wir sehen können, ebenfalls Sender von Licht sind, leuchtet den meisten Schülerinnen und Schülern nicht mehr ein. Die Vorstellung, dass inaktive Körper aktiv Licht aussenden, erscheint vielen von ihnen absurd. Diese Körper sind nur sichtbar, weil auf ihnen das Licht „liegt“, welches wir wiederum sehen, wenn wir die Augen auf den Körper richten (Jung, 1993).

Bei den Untersuchungen zur physikalischen Vorstellung zum Sehen dient der Sehvorgang als Referenz. Infolgedessen wird die Ausbreitung des Lichts von der Lichtquelle über den beleuchteten Körper zum Auge als zutreffende physikalische Deutung des Sehens betont. Gropengießer (1997) hat in einer Untersuchung mit Lernenden der Sekundarstufe II gezeigt, dass diese physikorientierten Untersuchungen nur einen Teil dessen erfassen, was beim Sehvorgang wichtig ist. Die Auswertung der Frage, wie sich die Schülerinnen und Schüler vorstellen, dass ein physikalisches Bild auf der Netzhaut zum „gesehenen“ Bild wird, ergab eine Unterscheidung des Sehens in zwei Richtungen: zum einen die Richtung des Lichtwegs auf das Auge zu und die Blickrichtung vom Auge weg. Diese Richtung

beschreibt den Vorgang des Gehirns, das Bild auf der Netzhaut gewissermaßen in den Raum zu projizieren.

Bewegung in „natürlicher“ Richtung und gegen diese Richtung

Aus Sicht der Physik wird ein Körper nur dann beschleunigt, wenn auf ihn eine Kraft wirkt. Fällt beispielsweise ein Stein von einem erhöhten Ort herunter, dann wird er durch die Gravitationskraft beschleunigt. Um ihn wieder auf die Ausgangshöhe zu schaffen, ist eine Kraft nötig. Diese physikalische Vorstellung teilen die Mehrzahl der Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I und II und selbst erwachsene „physikalische Laien“ nicht. Für sie fällt ein Stein, weil es in der Natur des Steines liegt, herunterzufallen. Aus Sicht dieser aristotelischen Physik kehrt der Stein lediglich an seinen natürlichen Ort zurück. Eine antreibende Kraft bedarf es dazu nicht. Erst wenn der Stein hinaufgehoben oder -geworfen wird, ist aus Alltagssicht dazu eine Kraft notwendig.

Literatur

Andersson, B. (1986). Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. *Science Education* 79, 549-567.

Andersson, B. (1990). Pupils' conception of matter and its transformations (age 12-16). *Science Education* 18, 53-85.

Bell, B. (1981). When an animal is not an animal. *Journal of Biological Education* 15 (3), 213-218.

BouJaoude, S.B. (1991). A study of the nature of students' understanding about the concept of burning. *Journal for Research in Science Teaching* 28 (8), 689-704.

Driver, R. (1985). Beyond appearances: The conservation of matter under physical and chemical transformations. In: Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. (Hrsg.): *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press, 145-169.

Duit, R. (1992). Teilchen- und Atomvorstellung. In: Fischler, H. (Hrsg.). *Quantenphysik in der Schule*. Kiel, 201-214.

Duit, R. (1996). Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Duit, R. & von Rhöneck (Hrsg.). *Lernen in den Naturwissenschaften*. Beiträge zu einem Workshop an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg. Kiel, 145-162.

Gropengießer, H. (1997). Schülervorstellungen zum Sehen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3 (2), 72-87.

Häußler, P., Bündler, W., Duit, R., Gräber, W. & Mayer, J. (1998). *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung. Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. Kiel.

Hesse, III, J.P. & Anderson, C.W. (1992). Students' conceptions of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching* 29 (3), 277-299.

IPN Curriculum Physik (1975). *Unterrichtseinheiten „Licht und Schatten“ und „Modelle des elektrischen Stromkreises“*. Stuttgart.

Jung, W. (1993). Hilft die Entwicklungspsychologie dem Naturwissenschaftsdidaktiker? In: Duit, R. & Gräber, W. (Hrsg.). *Kognitive Entwicklung und Lernen der Naturwissenschaften*. Kiel: IPN, 86-108.

- Kattmann, U. & Schmitt, A. (1996). Elementares Ordnen: Wie Schüler Tiere klassifizieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 2 (2), 21-38.
- Meheut, M., Saltiel, E. & Tiberghien, A. (1985). Pupils' (11-12 years olds) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education* 7 (1), 83-93.
- Nieswandt, M. (1998). Problems and possibilities for learning in an introductory chemistry course from a conceptual change perspective. *Science Education* 85, 158-179, 2001
- Pfundt, H. (1975). Ursprüngliche Erklärungen der Schüler für chemische Vorgänge. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 28, 157-162.
- Pfundt, H. (1982). Vorunterrichtliche Vorstellungen von stofflicher Veränderung. *chimica didactica* 8, 161-180.
- Prieto, T., Watson, J. R., Dillon, J. S. (1992). Pupils understanding of combustion. *Research in Science Education* 22, 331- 340
- K. Ross (1972): Burning: a constructive not a destructive Process. *School Science Review* 1972, 39-50
- Wandersee, J.H., Good, R.G. & Demastes, S.S. (1995). Forschung zum Unterricht über Evolution: Eine Bestandsaufnahme. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 1, 43-54.
- Watson, J. R., Prieto, T., Dillon, J.S. (1997). Consistency of students explanations about combustion. *Science Education* 81, 425- 443