

**Deutscher Verein zur Förderung des mathematischen
und naturwissenschaftlichen Unterrichts e. V.**



**Naturwissenschaften besser verstehen,
Lernhindernisse vermeiden.**

Anregungen zum gemeinsamen Nutzen von Begriffen und
Sprechweisen in Biologie, Chemie und Physik
(Sekundarbereich I)

April 2004

Förderverein MNU

Deutscher Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts e.V.

<http://www.mnu.de>

Der Verein ist durch Verfügung des Finanzamtes für Körperschaften in Hamburg als gemeinnützig anerkannt. Die Beiträge werden nur für satzungsgemäße Zwecke verwendet.

Kontoverbindung: Förderverein MNU, Hamburger Sparkasse, BLZ 200 505 50, Konto-Nr. 1090 213 404

Vorstand

- Ehrenvorsitzender: OStD i.R. A. KLEIN, Stachelsweg 28, 51107 Köln. Tel. 0221 862261
1. Vorsitzender: OStD A. A CAMPO, Kammannstr. 13, 58097 Hagen. Tel. 02331 880388, Fax 880395
aCampo@t-online.de
2. Vorsitzende: StD SABINE SCHMALSTIEG, Teckhauser Str. 55, 40822 Mettmann. Tel. 02104 139649, SSgme@t-online.de
- Geschäftsführer: StD KARSTEN RECKLEBEN, Walter-Frahm-Stieg 30, 22041 Hamburg. Tel./Fax 040 6570162
Reckleben@t-online.de

Beisitzer

- Mathematik: StD HANS-JÜRGEN ELSCHENBROICH, Kirchstr. 26, 41352 Korschenbroich. Tel. 02182 855199
elschenbroich@t-online.de
- Physik: StD Dr. WOLFGANG PHILIPP, Danziger Str. 6, 72622 Nürtingen. Tel. 07022 949691
WolfgangPhilipp@t-online.de
- Chemie: StD M. KREMER, Fuerstensteinweg 24, 78532 Tuttlingen. Tel. 07461 77950, Fax 162532, Kremer-Tuttlingen@t-online.de
- Biologie: StD JÜRGEN LANGLET, Am Hang 17, 21403 Wendisch Evern. Tel. 04131 58404, langlet@t-online.de
- Informatik: StD D. POHLMANN, Friedrich-Naumann-Weg 22, 25337 Elmshorn. Tel. 04121 470635, Fax 437081
D.Pohlmann@gmx.de
- Information: NORBERT FINCK, Wensenbalken 53, 22359 Hamburg, Tel. 040 6914357, NFinck@aol.com
- MNU-Haupt-Schriftleiter: Prof. Dr. BERND RALLE, Kebbestr. 29, 44267 Dortmund, Tel. 0231 4755867, Fax 0231 4755868

Die Mitgliedschaft im Förderverein MNU

Über den Förderverein MNU informieren wir Sie gerne. Bitte Info-Blatt beim MNU-Geschäftsführer anfordern. Nähere Informationen finden Sie auch im Internet: www.mnu.de.

Geschäftsjahr ist das Kalenderjahr. Der Eintritt von natürlichen Personen kann jederzeit erfolgen. Der Beginn der Mitgliedschaft rechnet je nach Wunsch des Eintretenden vom 1. Januar oder 1. Juli an. Der Austritt ist nur zum 31. Dezember möglich und muss bis 1. Oktober dem Geschäftsführer gemeldet werden. Schulen, Institutionen aller Art, Wirtschaftsunternehmen und Verbände können nicht Mitglied werden. Ihnen steht das Abonnement der Zeitschrift über den Verlag offen.

Jahresbeitrag. Ab dem 1.1.2002 beträgt der Jahresbeitrag für Mitglieder in den alten Bundesländern 45,-€
Mitglieder in den neuen Bundesländern, Mitglieder im Ausland 35,-€
Der ermäßigte Jahresbeitrag beträgt für Pensionäre in den alten Bundesländern 35,-€
Rentner in den neuen Bundesländern, Studenten und Referendare 25,-€
Ehepartner eines Mitglieds 10,-€
Für eine Ermäßigung ist dem Geschäftsführer eine entsprechende Bescheinigung einzureichen. Im Beitrag ist die Belieferung mit der Zeitschrift »Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht« eingeschlossen.
Der Jahresbeitrag ist bis zum 1. Juni im Ganzen zu zahlen – Kto. 10 90 213 404 (BLZ 200 505 50) Hamburger Sparkasse. Später noch ausstehende Beiträge werden zuzüglich der Kosten der Einziehung durch Postnachnahme erhoben.

An- und Abmeldung sind nur an den Geschäftsführer zu richten.

Bildungsverlag EINS

Sieglarer Straße 2, 53842 Troisdorf
Telefon/Redaktion 02131 1248864
Telefon/Anzeigen 02131 1248864
Telefax 02131 1248862
seeberger.neuss@gmx.de

**MNU-Erscheinungsweise:
achtmal jährlich (alle sechs Wochen),
je 64 Seiten Umfang**

Heft-Nr.	Erscheinungstermin	Anzeigenschluss
1	15. Januar	15. Dezember
2	1. März	1. Februar
3	15. April	15. März
4	1. Juni	1. Mai
5	15. Juli	15. Juni
6	1. September	1. August
7	15. Oktober	15. September
8	1. Dezember	1. November

MNU-Bezugsbedingungen

Pro Jahrgang 8 Hefte = 512 Seiten plus 8 Seiten Jahresinhaltsverzeichnis und Archiv-CD-ROM: 54,80 €, Einzelheft 7,20 €, zuzüglich Versandspesen. Hefte früherer Jahrgänge sind zu gleichem Preis teilweise noch lieferbar. Für Mitglieder des Fördervereins ist der Bezugspreis im Vereinsbeitrag enthalten (vgl. linke Spalte). Eine Kündigung des Jahresabonnements kann nur anerkannt werden, wenn die schriftliche Kündigung für das folgende Jahr am 1. Oktober des laufenden Jahres beim Verlag vorliegt.

Anschriftenänderungen

bitte rechtzeitig dem Verlag (nicht dem Geschäftsführer des Fördervereins und nicht der Post) mitteilen. Bei Anschriftenänderungen, die nicht mindestens 4 Wochen vor Erscheinen des nächsten Heftes beim Verlag gemeldet sind, kann bei Verlust eines Heftes Ersatz nur gegen Berechnung gestellt werden, da die Post Zeitschriften weder nachsendet noch an den Verlag zurückgibt.

Redaktionelle Zuschriften

bitte an einen der zuständigen Fachschriftleiter senden.

Hinweise für Autoren sind in Heft 2 eines Jahrgangs zu finden, außerdem im Internet unter:

<http://www.uni-dortmund.de/MNU>

Aus Gründen der Lesbarkeit wird in MNU auf die doppelte Nennung von männlicher und weiblicher Form verzichtet.

Verlag, Anzeigen- und Beilagenverwaltung

Verlag Anschrift wie oben. Anzeigen- und Beilagenpreise gemäß Tarif Nr. 24 vom 1. Jan. 2000. Für Stellengesuche und Behördenanzeigen gilt ein ermäßigter Tarif. Anzeigenschluss jeweils vier Wochen vor Erscheinen (s. obige Termine).

Satz, Druck, Bindearbeiten:
Druck & Media GmbH KRONACH
Güterstraße 8 + 9, 96317 Kronach, Tel. 09261 5068-0
www.druck-media.de; ISDN-Leonardo: 09261 5068-4698

Copyright / Fotokopien
Sämtliche Rechte liegen beim Verlag. Die Zeitschrift und ihre Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf deshalb der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages.

Naturwissenschaften besser verstehen, Lernhindernisse vermeiden.

Anregungen zum gemeinsamen Nutzen von Begriffen und Sprechweisen in Biologie,
Chemie und Physik (Sekundarbereich I)



Die Bedeutung der naturwissenschaftlichen Fächer für die Allgemeinbildung ist unbestreitbar. Ohne einen Fundus an fachlichen Konzepten ist die immer notwendiger werdende Beschäftigung mit Querschnitt-Fragestellungen und fachübergreifenden Themen nicht möglich. In vielen Ländern wird daher zurzeit der naturwissenschaftliche Unterricht durch verschiedene Maßnahmen gestärkt. Im Zuge der Diskussion der PISA-Ergebnisse und der Entwicklung von Bildungsstandards trat nun ein schon lange bekanntes Defizit wieder zu Tage: die unvollkommene Abstimmung der naturwissenschaftlichen Fächer untereinander. Durch die nach Fächern getrennte Lehrplanerstellung und die innerfachliche Weiterentwicklung der Begriffssysteme haben sich Diskrepanzen ergeben, die aus Sicht der Schülerinnen und Schüler das Lernen in den naturwissenschaftlichen Fächern unnötig erschweren. Nach dem gemeinsamen Papier der Naturwissenschaften zu Bildungsstandards¹ werden hier Anregungen zu gemeinsam genutzten Begriffen veröffentlicht, die dieser Entwicklung gegensteuern möchten. Mit der hier vorgelegten Arbeit wollen wir kein Einheitsfach »Naturwissenschaft« befürworten, sondern zur Diskussion und zum Abbau von Unterschieden im jeweils verwendeten Begriffssystem beitragen.

Nur drei zentrale Konzepte, die in allen Naturwissenschaften Anwendung finden (»Knotenpunkte«), wurden von der Arbeitsgruppe, in der Schulpraktiker und Didaktiker der Hochschule zusammenarbeiteten, heraus gegriffen: »System«, »Bilanzierung« am Beispiel der Energie und »Kontinuum / Diskontinuum«. Verbunden werden Darlegungen aus den einzelnen Fächern, die insbesondere für Kollegen gedacht sind, die das betreffende Fach nicht studiert haben, mit Bezügen zum konkreten Unterricht. Auf diese Weise soll das vordringliche Ziel erreicht werden: Die Diskussion zwischen den naturwissenschaftlichen Fachschaften an jeder Schule, die die Schulcurricula gemeinsam entwickeln sollen. Es gibt eben nicht nur eine einzige richtige Art, den Unterricht in den Naturwissenschaften aufzubauen. Ein großes Versäumnis wäre es jedoch, parallel zueinander in den verschiedenen Fächern mit unterschiedlich verwendeten Begriffen umzugehen, ohne diese aufeinander abzustimmen.

Dass die Verfasser von Standards, Lehrbüchern und anderer Veröffentlichungen fachdidaktischer Inhalte den mit diesem Papier angeregten Aspekt ebenfalls beherzigen mögen, ist unser Wunsch. Ein hohes Maß an Kompromissbereitschaft beim Prozess des Aushandelns an jeder Schule ist bei allen Beteiligten Voraussetzung. Der Zeitaufwand für die Gespräche über Fächergrenzen hinweg wird nach der Erfahrung der Autoren jedoch aufgewogen durch: neue Erkenntnisse, ein bewussteres Wahrnehmen der im eigenen Fach verwendeten Begriffe, Freude an neuen Sichtweisen auf Altbekanntes und gelegentlich ein heilsames Erschrecken über Diskrepanzen in Ausdrucksweisen, die aufmerksamen, mitdenkenden Schülern sicher nicht verborgen geblieben sein konnten.

Ein weiteres Ziel, das zunächst angesteuert wurde, konnte mit dieser Schrift noch nicht erreicht werden: Vorschläge zur Reduktion der Zahl der in der Schule verwendeten Begriffe. Hier müssten noch weitere Aktivitäten folgen. In bewährter Weise hat der Förderverein MNU auch bei diesem Projekt mit befreundeten Verbänden zusammen gearbeitet. Dank dafür sei gesagt der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte (GDNÄ), der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG), der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) und dem Verband Deutscher Biologen (VDBiol), sowie auch den Mitgliedern der naturwissenschaftlichen Standardkommissionen in Baden-Württemberg für ihre Vorarbeit.

Wir wünschen den Lesern dieses Papiers fruchtbare und interessante Diskussionen mit Ihren Kollegen der anderen naturwissenschaftlichen Fächer. Wenn Ihre Schüler die Naturwissenschaften dann besser verstehen, hat unsere Arbeit ihren Zweck erfüllt.

Hagen, Wendisch Evern, Tuttlingen, Nürtingen, im April 2004

ARNOLD A CAMPO
Bundesvorsitzender
aCampo@t-online.de

JÜRGEN LANGLET
Vorstandsamt Biologie
langlet@t-online.de

MATTHIAS KREMER
Vorstandsamt Chemie
Kremer-Tuttlingen@t-online.de

WOLFGANG PHILIPP
Vorstandsamt Physik
WolfgangPhilipp@t-online.de

¹ MNU: Lernen und Können im naturwissenschaftlichen Unterricht. Denkanstöße und Empfehlungen zur Entwicklung von Bildungs-Standards in den naturwissenschaftlichen Fächern Biologie, Chemie und Physik (Sekundarbereich I). MNU 56/5, 2003

Naturwissenschaften besser verstehen, Lernhindernisse vermeiden.

Anregungen zum gemeinsamen Nutzen von Begriffen und Sprechweisen in Biologie,
Chemie und Physik (Sekundarbereich I)

Verstehen – schwer gemacht

Ein normaler Tag in einer deutschen Schule. Im Physik-Unterricht der 9. Jahrgangsstufe werden die Schüler gebeten zu erläutern, was sie unter Energie verstehen: »Also, Energie gewinnt man beim Essen und verbraucht sie beim Sport.« Daraufhin die Physik-Lehrkraft: »Das habt ihr sicher so in Biologie gelernt; in Physik werdet ihr es dagegen richtig lernen, dass man nämlich Energie weder gewinnen noch verbrauchen kann!« In der nächsten Stunde hören dieselben Jugendlichen im Chemieunterricht am Beispiel des Ozons und des Sauerstoffs, dass es Stoffe gibt, die nicht aus Atomen, sondern aus Molekülen aufgebaut sind. »Aber in der Physikarbeit war die Antwort »Alle Stoffe sind aus Atomen aufgebaut« richtig«, protestieren die Schüler. In der dritten Stunde steht Biologie an. Dort versucht ein Schüler bei der Einführung des Ökosystem-Begriffs Anschluss an die vorherige Chemie-Stunde zu gewinnen, in der das Periodensystem behandelt wurde: »Was ist denn nun eigentlich »systematisch« in einem Ökosystem?«

Naturwissenschaften zu verstehen erfordert von den Lernenden ein hohes Maß an Anstrengungen, auch deshalb, weil manche ihrer Alltagsvorstellungen mit den zentralen Konzepten der drei Bezugswissenschaften kaum kompatibel sind. Zusätzlich erschweren die drei Fächer intra- und interspezifisch das Verstehen: durch unklare und sich widersprechende Begriffe und Begriffsverständnisse. Dieser fehlende Abgleich der zentralen naturwissenschaftlichen Begriffe erzeugt bei den Lernern Irritationen und Verdruss und steht einer naturwissenschaftlichen Bildung »aus einem Guss« entgegen.

Gemeinsame und fachspezifische Bildung

Dass diese Vereinheitlichung vor TIMSS und PISA selten angegangen worden ist, muss verwundern. In einer Zeit der zunehmenden Standardisierung des Outputs von Unterricht, in der das tatsächliche Können der Schülerinnen und Schüler evaluiert wird, ist der Abgleich von Begriffen und Konzepten unabdingbar geworden. »Die Forschung legt sogar nahe, dass die Entwicklung fächerübergreifender Kompetenzen das Vorhandensein gut ausgeprägter fachbezogener Kompetenzen voraussetzt.«² Aber ebenso gilt die Goethesche Sentenz: »Wer fremde Sprachen nicht kennt, weiß

nichts von der eigenen.« Wie soll der Lerner das eine Fach verstehen, wenn ihm in dem anderen gleich lautende Begriffe mit einer abweichenden Bedeutung abverlangt werden? Wie soll ihm bewusst werden, dass die drei Naturwissenschaften mit drei unterschiedlichen »Brillen«³, das heißt, mit sich ergänzenden und sich nicht widersprechenden Perspektiven, die *eine* Welt betrachten? So interessiert sich der Physiker bei einem Stück Holz z. B. für dessen physikalische Eigenschaften wie Masse, Dichte etc., die Chemikerin wird die darin enthaltenen Stoffe analysieren, während aus Biologensicht Funktionen des Holzes aus seiner Struktur zu erschließen sind. Dies sind drei sich ergänzende, nicht kontrastierende Sicht- und Erschließungsweisen. Fachspezifische und fachübergreifende Bildung muss diesen Perspektivenwechsel fördern und nicht durch Begriffsverwirrungen stören!

Abstimmung ist gefordert

Eine Vereinheitlichung der begrifflichen Grundlagen der Naturwissenschaften setzt Abstimmung unter den Fächern voraus. Dieses ist eine didaktische und pädagogische Pflicht. Denn das Verstehen der Naturwissenschaften, das im Kopf der Lernenden gelingen soll, muss unter den Fachlehrkräften entsprechend geebnet werden. Dieses ist kein einfacher, aber ein lohnender Prozess – wie die an diesen Empfehlungen Beteiligten aus eigener Erfahrung bestätigen können. Denn:

- In der Erläuterung der Begriffe und Konzepte des eigenen Faches gegenüber Fachfremden wird das eigene Fachverständnis ausgeschärft.
- Im kritischen (im Sinne von »(Fach-)Grenzen ziehenden«) Prozess kristallisiert sich der fachspezifische Kern heraus. Damit nähert man sich einem Kerncurriculum: Was sollten Lernende mindestens wissen und können? Lehrende wie Lernende sollten um die Chancen, Eigenheiten und Einengungen der Blickwinkel durch die fachspezifischen Brillen wissen. Diese selbstkritische Sicht verlangt zudem von den Beteiligten fachliche Bescheidenheit und Toleranz.
- Durch das Erleben und Erfahren der Sichtweisen der anderen Fächer lernt man das allgemeine und das spezifische naturwissenschaftliche Denken kennen. Sicherlich erhöht z. B. ein Biologielehrer sein Verständnis von Energie, wenn er darüber mit Physiklehrern spricht. Und umgekehrt kann der Phy-

² E. KLIEME et al (Hrsg.): Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Eine Expertise. 2003, S. 61.

³ MNU: Lernen und Können im naturwissenschaftlichen Unterricht. Denkanstöße und Empfehlungen zur Entwicklung von Bildungsstandards in den naturwissenschaftlichen Fächern Biologie, Chemie und Physik (Sekundarbereich I). MNU 56/5, 2003.

siklehrer z. B. systemisches Denken von der Biologie-Kollegin lernen.

- Das gemeinsame Austauschen über die fachspezifischen Brillen birgt – auch diese Erfahrung haben wir gewonnen – Überraschungen. Erst auf diese Weise versteht der Lehrende manche Schwierigkeiten seiner Schüler und erwirbt Strategien des Umgangs mit diesen: Das fachspezifische Lernen verlangt den fachübergreifenden Blick, die fachübergreifend denkende Lehrkraft!⁴
- Nicht zuletzt lohnt es sich aus persönlichen und sozialen Gründen sehr, das Gespräch mit den Kolleginnen und Kollegen des eigenen Faches und verwandter Fächer zu suchen. Im Zeichen von Standards und flexiblen Stundentafeln wird jenes sowieso von allen Fachgruppen und in allen Schulen verlangt werden. Die primär vielleicht als lästig empfundene Investition an Zeit zahlt sich mehrfach aus. Die Auffrischung des sozialen Klimas stärkt die Motivation. Das Heraustreten aus der Alltagsarbeit und das Nachdenken über die eigene Tätigkeit erzeugt neue Freude am Beruf.

Kumulatives und konstruktives Lernen

Inzwischen ist die Erkenntnis unstrittig, dass die Qualität von naturwissenschaftlichem Unterricht durch eine noch so ausgeklügelte additive Sequenzierung von Lerninhalten kaum erhöht wird. Schülerinnen

und Schüler dürfen auf dem Weg des sukzessiven Verstehens der Naturwissenschaften nicht allein gelassen werden. Vielmehr muss ihr ursprünglich vorhandenes Interesse an der Natur aufgenommen und entwickelt werden. Auf diesem Wege steht eine Menge von Begriffen, die das Verstehen bestimmen. Dabei müssen diese gebildet bzw. ausgeschärft werden. Instruktiv vermittelte Begriffe werden allenfalls als fremde, sinnlose Bezeichnungen wenig nachhaltig gelernt und schnell wieder vergessen. Ihre Bedeutung können sie auf diesem Wege nicht entfalten. Dieses muss in Auseinandersetzung mit den Vorstellungen der Lerner geschehen. Es ist nicht nur unabdingbar, sondern sehr lohnend, von diesen im Unterricht auszugehen und das Erweitern und Ausschärfen der Begriffsstrukturen fördernd zu begleiten. Der Unterricht soll ausgehend von einem einheitlichen Begriffssystem der Lehrenden die Heranwachsenden Schritt für Schritt dazu befähigen, die abstrakte Welt der naturwissenschaftlichen Erklärungen zu erschließen.

Dieses ist umso notwendiger, als eine alleinige Orientierung von Unterricht an Schülervorstellungen die Gefahr der Kasuistik birgt: Einzelne Themen werden additiv aneinander gereiht. Kumulative Vernetzung fachspezifischer und fachübergreifender Konzepte ist gefordert. Die Letzteren haben nicht nur Bedeutung für die Naturwissenschaften, sondern sind auch wichtige Aspekte der naturwissenschaftlichen Grundbildung. Sie sind der Zone 2 in der von der GDNÄ-Kommission aufgestellten Rosette⁵ der wissenschaftlichen Begriffe (Abb. 1) zuzuordnen.

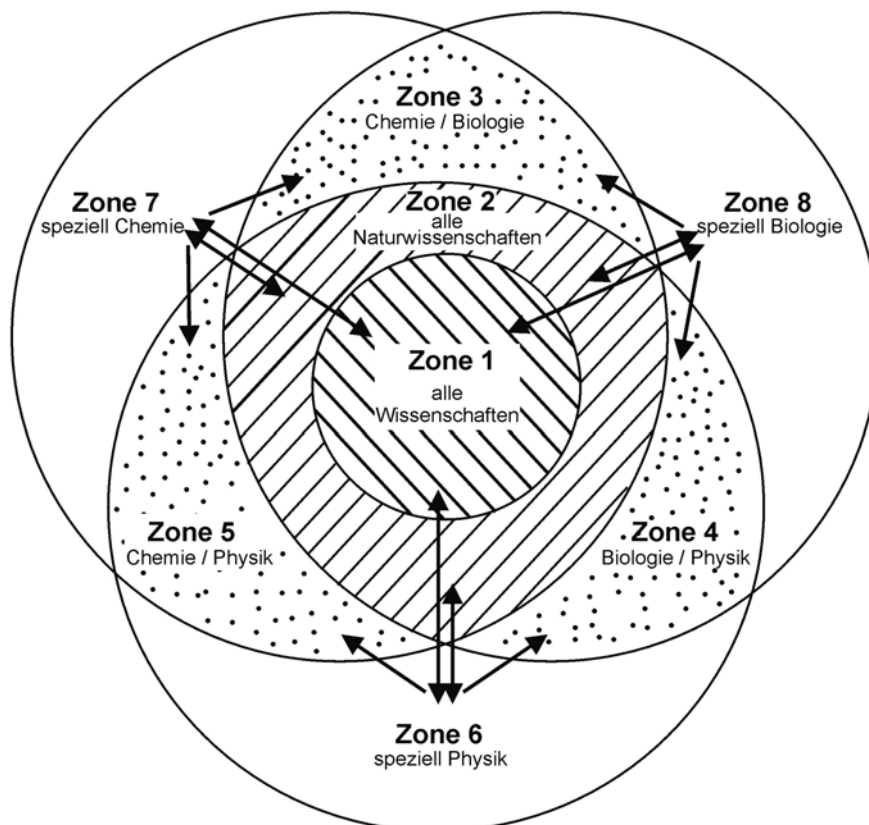


Abb. 1. «Rosette» der wissenschaftlichen Begriffe nach GDNÄ

⁴ G. SCHAEFER et al.: Allgemeinbildung durch Naturwissenschaften. GDNÄ-Denkschrift. Köln 2000/2002

⁵ G. SCHAEFER et al.: Allgemeinbildung durch Naturwissenschaften. GDNÄ-Denkschrift. Köln 2000/2002

Alle naturwissenschaftlichen Fächer treffen sich in einigen zentralen -kategorial allerdings unterschiedlichen- Konzepten (und damit Begriffen), die wir auch als »Knotenpunkte« bezeichnen. Es sind dies neben anderen vor allem:

1) **SYSTEM** (analytisches und systemisches Denken)

Alle Vorgänge in der Natur sind als großes Kausalnetz voneinander abhängig. Das klassisch analytische Vorgehen in den Naturwissenschaften zerlegt aber oftmals dieses Netz zunächst in monokausale, lineare Beziehungen, die dann in ihren Wechselwirkungen und Regulationen erfasst werden können. Dabei übersehen werden Eigenschaften des Systems, die sich nicht aus den Systemelementen allein ableiten lassen (»emergente« Systemeigenschaften). Das systemische Konzept umfasst die beiden anderen Knotenpunkte, es per se fachübergreifend. Der Systembegriff ist über die Naturwissenschaften hinaus ein tragfähiges Analyse- und Problemlösewerkzeug.

2) **BILANZIERUNGSKONZEPT** (am Beispiel Energie)

Erhaltungssätze (für Energie, Impuls usw.) sind grundlegend für die Naturwissenschaften, da sie messendes und quantifizierendes Bilanzieren ermöglichen. Somit ist das Bilanzierungskonzept eine Hilfe zum Verständnis dynamischer Prozesse. In dieser Schrift soll das Bilanzierungskonzept vor allem am Beispiel des Energiebegriffs verdeutlicht werden.

3) **KONTINUUM / DISKONTINUUM**

Bei einem Stoffsystem, das als Kontinuum wahrgenommen wird, befindet man sich auf der systemischen Phänomen-Ebene. Diese ist aus folgenden Gründen stets deutlich von der erklärenden, als diskontinuierlich angenommenen Ebene der Bestandteile (»Diskontinuum-Ebene«) zu unterscheiden:

- Die Stoffe besitzen andere Eigenschaften als ihre Teilchen.
- Die Teilchen-Struktur eines Stoffes ist *eine*, aber nicht die alleinige Erklärung für die Eigenschaften und Nutzungsmöglichkeiten von Stoffen. So ist etwa das Wasser der Adria blau, eine Aussage,

die für das einzelne Wassermolekül völlig unangebracht ist. Umgekehrt trifft die Eigenschaft »ist gewinkelt« sehr wohl auf das Wassermolekül zu, nicht jedoch auf den Stoff »Wasser«.

Ausgewählt wurden die drei »Knotenpunkte«, da sie nach Ansicht der Autorengruppe zentrale Konzepte der Fächer miteinander verbinden: Einerseits beruht die Möglichkeit zu bilanzieren auf der Existenz eines Systems. Andererseits kann man als Komponenten eines stofflichen Systems auch die Teilchen betrachten, aus denen es aufgebaut ist, wobei man zur neuen Kategorie des Diskontinuums gewechselt hat.

Eine fachübergreifende Abstimmung erleichtert jedoch nicht nur das kumulative Lernen und Lehren dieser Konzepte, sondern zeigt außerdem den Bildungswert der naturwissenschaftlichen Fächer über das Fach hinaus auf: Was hat das Systemverständnis der Naturwissenschaften mit dem Systemverständnis gesellschaftlicher Strukturen gemeinsam? Gibt es tatsächlich beim Verhältnis zwischen Individuum und Gesellschaft Parallelitäten zur Beziehung zwischen Teilchen und Stoff? Inwiefern trägt das Denken in und das Aufeinanderbeziehen von Stoff- und Teilchen-Ebene zu einem Hineinversetzen in andere Perspektiven allgemein bei?

Abbildung 2 verdeutlicht, dass die drei Knotenpunkte ihrerseits wieder eng miteinander verbunden sind: Die konsequente Betrachtung von Systemen erfordert die Definition von Grenzen, Komponenten, Prozessen und Bedingungen. Eine Bilanzierung ist nicht möglich ohne das Festlegen von Systemgrenzen. Das Kontinuum/Diskontinuums-Konzept erfordert die Trennung, aber eben auch das Aufeinanderbeziehen verschiedener Betrachtungsebenen und macht auf diese Weise deutlich, dass ein System mehr als die Summe seiner Komponenten ist. Das Beispiel »Stoff und Teilchen« verdeutlicht dies in besonderer Weise.

Ziel einer Fachkonferenz muss es natürlich dennoch bleiben, neben fachübergreifenden Begriffen und Konzepten auch die fachspezifischen Probleme zu beschreiben.

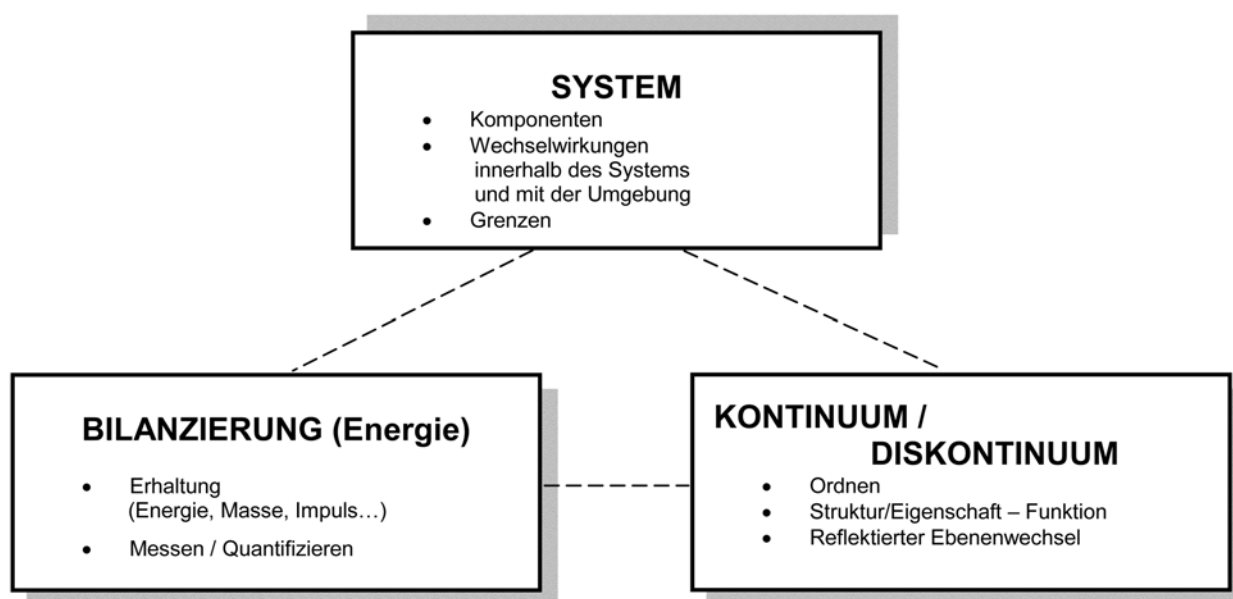


Abb. 2. »Knotenpunkte« der Naturwissenschaften

Solche fachimmanenten Aspekte beispielsweise der Chemie (die auch in anderen Fächern Anwendung finden), sind etwa die Reaktionssteuerung in technischen Prozessen (Katalyse, Produktausbeute) oder Systematisierungshilfen (Periodensystem, funktionelle Gruppen und homologe Reihen).

Die nachfolgende Beschreibung der »Knotenpunkte« zeigt zunächst bedeutsame Anknüpfungspunkte an Alltagsbegriffe und Schülervorstellungen auf, bevor darauf aufbauend Vorschläge entwickelt werden, wie die Behandlung des jeweiligen Konzeptes zu einem besseren Verständnis über die Verbindung von Alltags- und Fachkontexten beitragen kann. Darüber hinaus wird auf zentrale Problemstellen hingewiesen, die durch eine nicht abgesprochene Begriffsverwendung im Unterricht auftreten können.

Knotenpunkte der naturwissenschaftlichen Fächer

1. Knotenpunkt: System (analytisches und systemisches Denken)

Analytisches Denken ist das primäre Erschließungsmittel der Naturwissenschaften. Komplexe Zusammenhänge verlangen aber ein über den Reduktionismus hinausgreifendes vernetzendes Denken in Systemen. Systemisches Denken umschließt a priori die anderen Knotenpunkte.

Systemisches Denken hat sich in den grundlegenden und anwendungsbezogenen naturwissenschaftlichen Disziplinen in den letzten Jahrzehnten durchgesetzt. Zudem besitzt es in einer zusammenwachsenden Welt zunehmende Alltagsrelevanz (Gesundheits-, Renten-, Globalsystem). Nicht nur das Wissen um die nahezu unbegrenzte Interdependenz vielfacher Faktoren, vielmehr deren Analyse und Synthese im Denken und Handeln ist der Schlüssel zur Bewältigung aktueller und zukünftiger Probleme.

Zusätzlich kommt dem Erwerb systemischen Denkens ein hoher Bildungswert zu, da Menschen eher zum linear-monokausalen und subjektbezogenen Denken neigen. So wird etwa ein einzelner heißer Sommertag von manchen Menschen direkt auf den vermehrten Ausstoß an Kohlenstoffdioxid zurückgeführt, während es sich beim Wettergeschehen doch um einen sehr komplexen Prozess handelt. In diesem Sinne werden häufig möglichst einfache typologische Ordnungen gesucht.

Was ist ein System?

Systeme sind in unterschiedlicher Absicht (Beschreiben, Ordnen, Erklären, Steuern, Beeinflussen) begrenzte Einheiten in Raum und Zeit, die aus *Komponenten* zusammengesetzt gedacht werden. Diese Komponenten stehen zueinander in Beziehung. Beim systemischen Denken wird Natur oder ein technisches Phänomen nicht als Ganzes, sondern als aus einzelnen, gezielt abgegrenzten Teilen zusammengesetzt betrachtet.

Systeme lassen sich folgendermaßen unterscheiden (Abbildung 4):

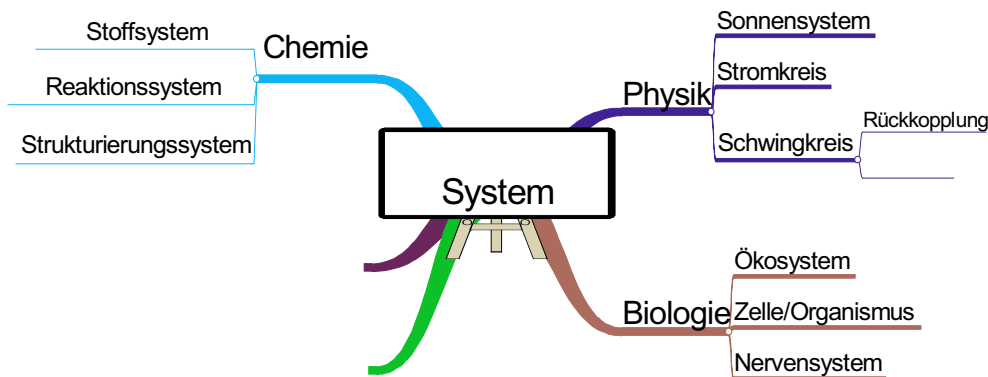


Abb. 3. Der Knotenpunkt »System« in den naturwissenschaftlichen Fächern

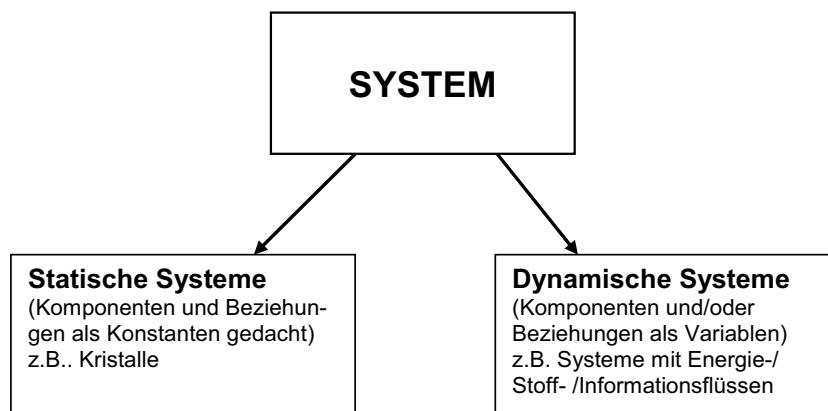


Abb. 4. System-Kategorien

Systeme können als Ganzes oder bezüglich bestimmter Variablen »Gleichgewichtszustände« einnehmen. In diesem Falle bleibt entweder die räumliche Lage des gesamten Systems oder die Größe der entsprechenden Variablen über ein mehr oder minder langes Zeitintervall konstant. Danach kann man folgende Arten von Systemgleichgewichten betrachten, wie sie in Abbildung 5 dargestellt werden.

In statischen Systemen sind im Gegensatz zu dynamischen definitionsgemäß die Elemente und die Beziehungen als konstant angenommen. Tatsächlich sind aber alle stofflichen Systeme dynamisch, auch wenn sich ihre Dynamik manchmal außerordentlich langsam vollzieht.

Die Unterscheidung zwischen »offenen« und »geschlossenen« Systemen ist künstlich (aber oft nützlich), da alle materiellen Systeme bzgl. irgendeiner Flussgröße mehr oder weniger offen sind. Die Ausdrücke »offen« oder »geschlossen« beziehen sich immer nur auf bestimmte Flussgrößen, die deshalb genau anzugeben sind.

Systeme unterliegen immer irgendwelchen Rückkopplungen. Diese können positiv oder negativ sein. Letztere wirken regelnd auf das System. Wenn dafür spezielle Regelungseinrichtungen wie Fühler und Regler vorhanden sind, spricht man von Homöostase. Systemisches Denken ist konstitutiv für naturwissenschaftliches Arbeiten. Die Analyse von Systemelementen und ihren Zweierbeziehungen muss anschließend immer wieder durch synthetisches Denken vernetzt werden. Nur auf diese Weise sind wir in der Lage, die Dynamik natürlicher Prozesse zu verstehen, zu beurteilen und in Handlungen umzusetzen.

Für die Schülerinnen und Schüler stellen sich die Naturwissenschaften im SI-Bereich bezüglich des systemischen Denkens widersprüchlich dar. Während in der Biologie bereits sehr früh der offene Systemcharakter von Organismen und Ökosystemen gezeigt wird, werden ihnen in Physik und Chemie sehr viel häufiger geschlossene Systeme dargeboten (z. B. mechanische Systeme ohne Reibung), wobei jeweils genau angege-

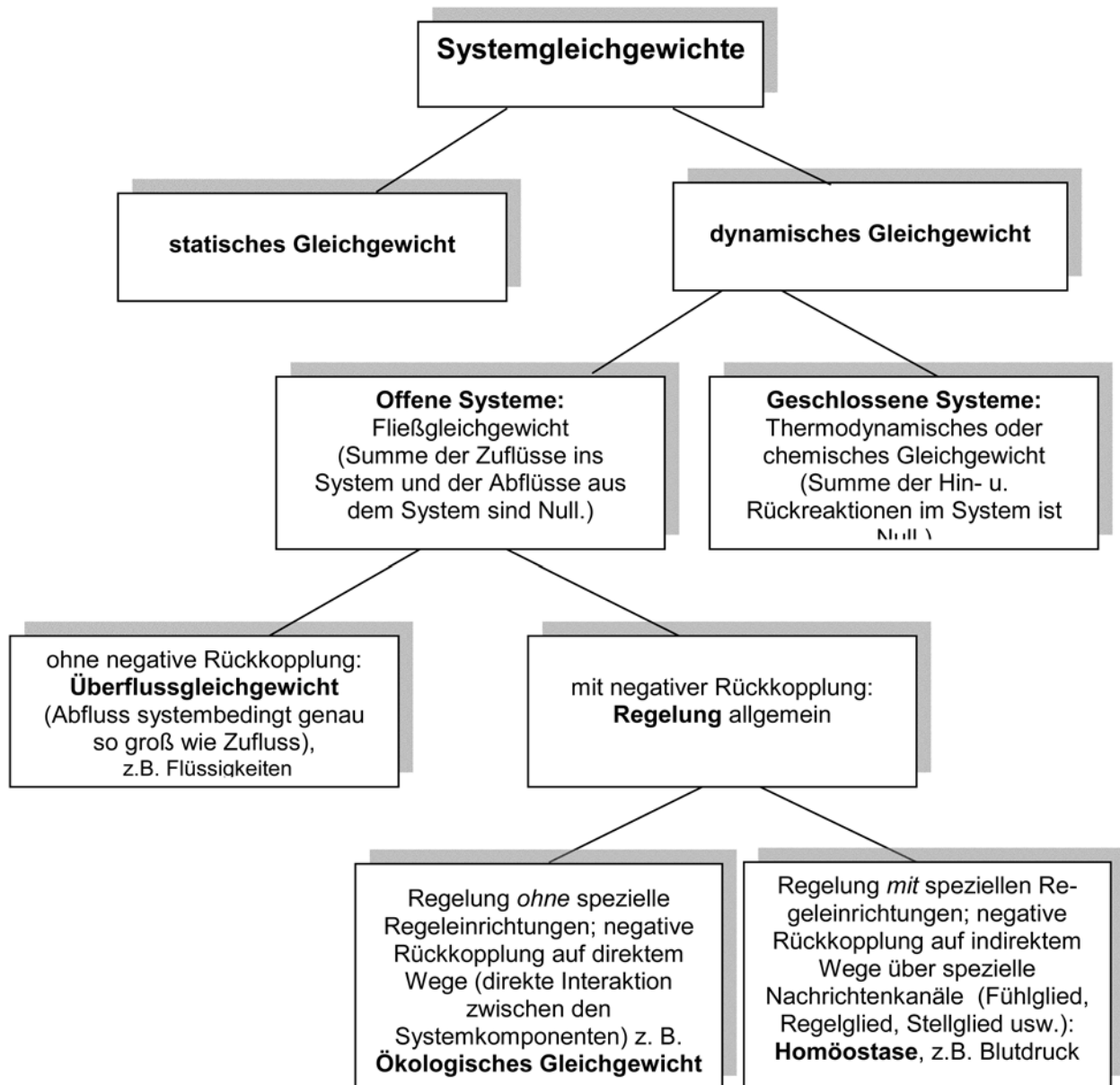


Abb. 5. Gleichgewichte in dynamischen (und statischen) Systemen

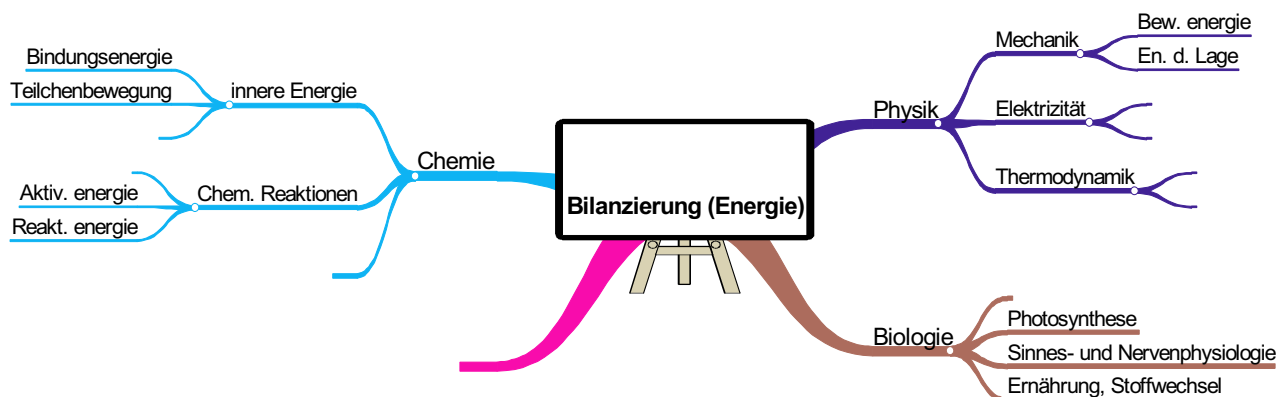


Abb. 6. Der Knotenpunkt »Bilanzierung (am Beispiel Energie)« in den naturwissenschaftlichen Fächern

ben werden sollte, ob das System bezüglich Stoffaustausch, bezüglich Energieaustausch oder in beiderlei Hinsicht »geschlossen« ist.

Nicht zuletzt wird der Systembegriff auch bezüglich der Unterscheidung von Bezugs- und Ordnungssystemen verwendet.

Bezugssysteme sind solche Systeme, bei denen der Bezug einer Größe, eines Phänomens etc. zu einer vereinheitlichten Skala (Koordinaten, Temperatur, etc.) bestimmt wird.

Ordnungssysteme sind Systeme, die eine Vielzahl von Objekten/Elementen/Teilen nach Kriterien strukturieren und dadurch helfen, die Vielfalt zu überschauen (z. B. die Linnésche Taxonomie oder das chemische Periodensystem).

2. Knotenpunkt: Bilanzierungskonzept (am Beispiel Energie)

Der Begriff »Energie« spielt in allen drei naturwissenschaftlichen Fächern über alle Klassenstufen hinweg die zentrale Rolle. Es ist aus naturwissenschaftlicher Sicht die grundlegende Erhaltungsgröße und darüber hinaus hat sie für alle Geschehnisse im täglichen Leben größte Relevanz. (s. Abbildung 6)

Die mit der Energieerhaltung verbundene Bilanzierung ermöglicht es, beispielhaft die Quantifizierung in elementaren Fällen kennen zu lernen. Bei jeder Anwendung des Erhaltungssatzes müssen in jedem Einzelfall das System, seine Grenzen und die Energieflüsse in das System hinein bzw. aus dem System heraus angegeben werden. So ist z. B. bei exothermen chemischen Reaktionen bereits auf elementarem Niveau verständlich zu machen, dass die freigesetzte Energie nicht »entsteht«, sondern dass es sich um die Abgabe bereits im System existierender Energie handelt.

In der Alltagswelt ist der Begriff »Energie« allgegenwärtig, seine Bedeutung jedoch ist unspezifisch und unpräzise. Vorstellungen von Energie als universellem Antrieb, Energie als Ursache von Bewegung und Erwärmung, Energie als stofflicher Größe (Verbrauch) und andere werden von den Schülern als Präkonzepte in den Unterricht mitgebracht. Das führt zu Assoziationen (manches Mal auch direkt zu Gleichsetzungen) des Begriffs »Energie« mit solchen wie »Kraft«,

»Stoff«, »Leistung« oder gar »Antrieb«. Ebenso missdeutend sind Ausdrücke wie »Energieerzeugung« und »Energievernichtung«, die zwar im Alltag gebräuchlich sind, aber im Widerspruch zum Energieerhaltungssatz stehen.

Bei Gesprächen unter naturwissenschaftlichen Kollegen, sollten folgende Aspekte des Energiebegriffs miteinander abgestimmt werden:

Einführung und Vertiefung des Begriffs »Energie«

Als fundamentale naturwissenschaftliche Größe kann Energie nicht im Sinne einer Rückführung auf andere Größen definiert werden. Deshalb wird im Physikunterricht auf Definitionsversuche, wie z. B. »Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten«, verzichtet. Sie sind nicht verallgemeinerbar, weil Energieübertragung nicht nur mechanische Energieübertragung (Arbeit W) sondern z. B. auch thermische Energieübertragung (Wärme Q) beinhalten kann, wie es im ersten Hauptsatz der Wärmelehre zum Ausdruck kommt: Die Änderung der inneren Energie ΔU eines Systems ist durch $\Delta U = W + Q$ gegeben.

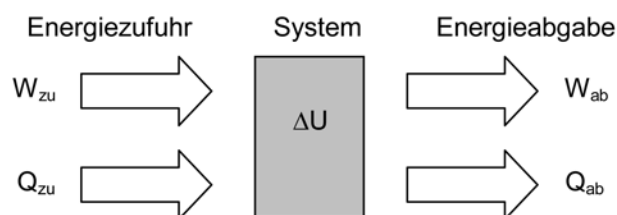


Abb. 7. Änderung der inneren Energie eines Systems.

Fundamentale Größen wie die Energie werden nur dadurch begrifflich, dass man klarmacht, welche verschiedenen Phänomene sie zusammenfassen und wie sie das tun. Dabei werden Gemeinsamkeiten und Regeln sichtbar. Über die Energie sind Naturerscheinungen miteinander verknüpft. Somit ordnet sie die Vorgänge in der Welt. Energie ist bilanzierbar und kann weder erzeugt noch vernichtet werden kann. Lernpsychologisch ist das deswegen von Vorteil, weil man so mit einer mengenartigen Vorstellung arbeiten kann. Es ist empfehlenswert, den Begriff »Energie« bereits in den unteren Klassenstufen anhand vieler Beispiele in allen naturwissenschaftlichen Fächern einzuführen und zu veranschaulichen. Das sorgt für eine zuneh-

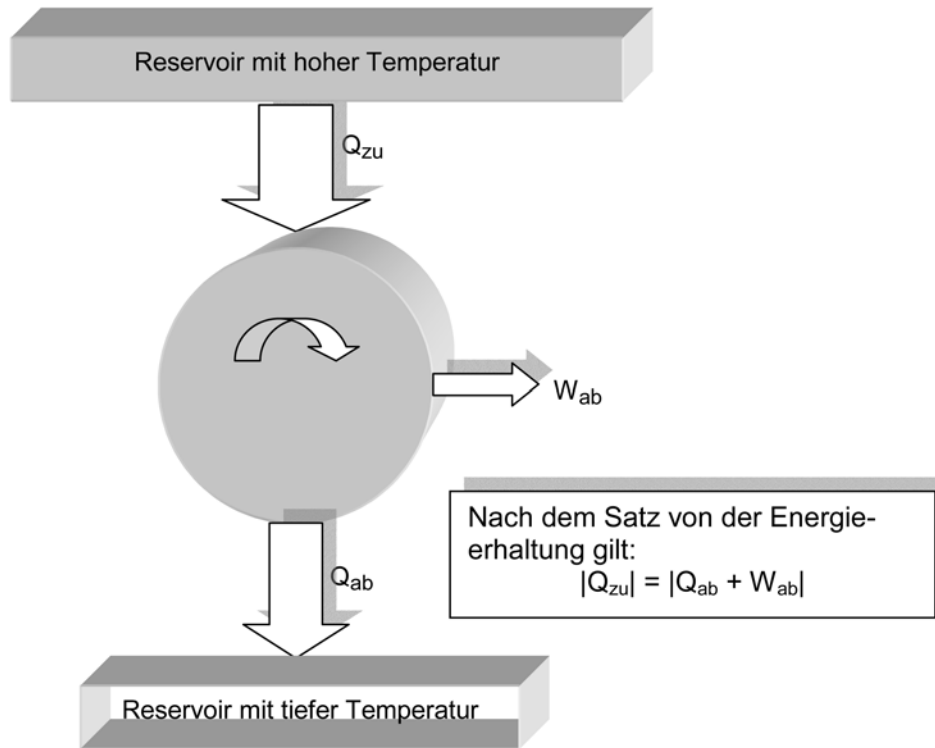


Abb. 8. Energiebilanzierung beim Stirlingmotor

mende Vertrautheit bei den Schülern und für eine allmähliche Abwendung von den in der Alltagssprache vorherrschenden und bewährten, für wissenschaftliche Betrachtungen jedoch ungeeigneten Sprechweisen. Eine gewisse Abstimmung der Fachlehrer untereinander über den Umgang mit diesen Vorstellungen und Sprechweisen ist sehr zweckmäßig. Ziel des Physikunterrichts ist dabei nicht primär diese zu unterdrücken, sondern der bewusste Umgang mit den jeweiligen Konzepten und den daraus resultierenden Veränderungen hin zu geeigneten Konzepten.

Folgende Aspekte spielen bei einer Vertiefung des Energiebegriffs eine Rolle:

- a) Energie eines Systems bzw. Energiezustände in einem System, wobei die Grenzen des jeweiligen Systems festzulegen sind (Systembezug)

- b) Energiebilanzen verschiedener Zustände eines Systems (Bilanzierungskonzept)
 c) Energieübertragung zwischen offenen Systemen.

Bilanzierung der Energie

Bei allen propädeutischen Überlegungen darf der Erhaltungsgedanke nicht vernachlässigt werden. Er kann von Beginn an mit einfachen Beispielen für die Energiebilanzierung plausibel gemacht werden. Hilfreich sind dabei einfache Grafiken (»Energieflussdiagramme«), in denen die Energie- und oft auch Stoffströme visualisiert werden, wie es in Technik und Wissenschaft ebenfalls üblich ist (vgl. Abbildungen 7–9).

Beispiel Nahrungsaufnahme beim System »Eichhörnchen«:

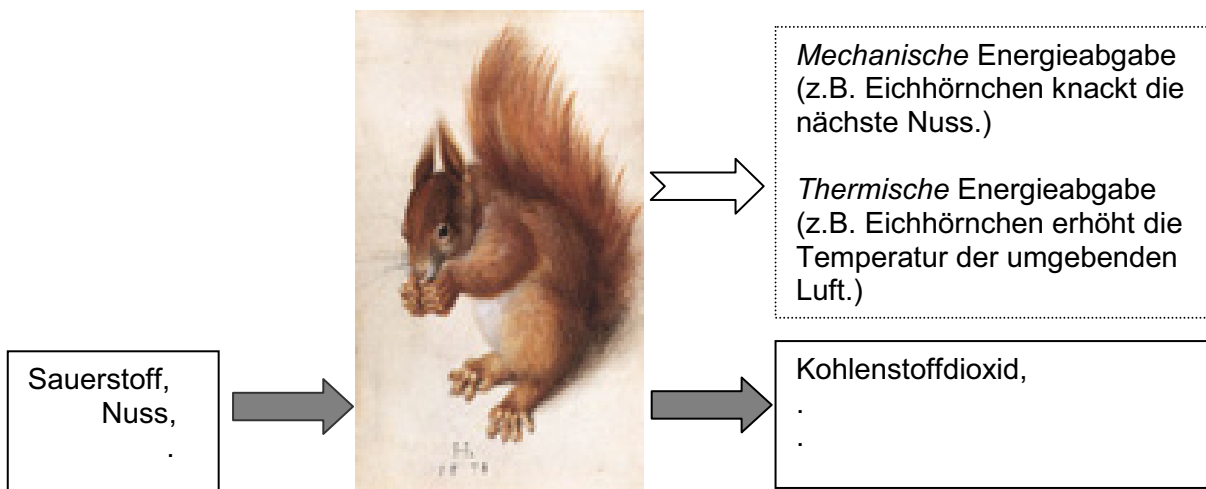


Abb. 9. Stoff- und Energieströme bei einem Eichhörnchen

Das Eichhörnchen isst z. B. eine Nuss und nimmt außerdem Sauerstoff auf. Dem System »Eichhörnchen« wird somit Energie zugeführt. Seine innere Energie steigt an ($\Delta U > 0$). Das Eichhörnchen gibt auch thermisch (Wärme) und mechanisch (Arbeit) Energie ab. Dadurch nimmt seine innere Energie ab.

Energie in offenen und geschlossenen Systemen

Wichtig ist bei Bilanzierungen immer die (gedankliche) Abgrenzung des jeweiligen betrachteten Systems, die explizit von den Schülern gefordert werden muss. Möglichst frühzeitig sind auch »geschlossene« und »offene« Systeme zu unterscheiden. Die Aussage »die Energie ist konstant« gilt für geschlossene Systeme, denn offene Systeme können Energieaustausch mit der Umgebung betreiben. Deren Energie muss also nicht konstant bleiben. Durch Betrachtung der Art des Systems werden vermeintliche Widersprüche zum Energieerhaltungssatz schnell aufgeklärt. Spricht man z. B. vom »Energieverbrauch«, so wird wohl ein offenes System betrachtet, bei dem ein Abfluss von Energie in die Umgebung (beziehungsweise die Aufnahme von Energie durch die Umgebung) unbeachtet geblieben ist.

Energieentwertung

Der im Alltag verwendete Begriff »Energieverbrauch« soll häufig nur die Tatsache ausdrücken, dass die Energie nach einer Energieumwandlung in einer Form vorliegt, die es nicht mehr ohne weiteres erlaubt, (für

wurde während des Umwandlungsprozesses »entwertet«.

In höheren Klassenstufen ist dann deutlich zu machen, dass eine Naturbeschreibung unvollständig ist, wenn eine Größe zur Beschreibung der Irreversibilität bei von selbst ablaufenden Vorgängen nicht zur Verfügung steht. Die Entropie kann anschaulich und verständlich zunächst als Größe eingeführt werden, die sich auf die Wahrscheinlichkeit von Zuständen bezieht, wobei in abgeschlossenen Systemen der Übergang von Ordnung zu Unordnung wesentlich ist.

3. Knotenpunkt: »Kontinuum / Diskontinuum«

Anknüpfungspunkte und Bedeutung des Stoff-Teilchen-Konzepts

(in den Naturwissenschaften und darüber hinaus)

Die Betrachtung stofflicher Phänomene (Zustände und Prozesse) und deren Deutung mit Hilfe von Modellen der submikroskopischen Ebene stellt ein grundlegendes Anliegen und Konzept der Chemie dar. Es spielt aber, wie zuvor angedeutet, auch in den anderen Naturwissenschaften eine wichtige Rolle.

Darüber hinaus leisten Verständnis und konsequente Anwendung des Stoff-Teilchen-Konzepts aber noch etwas anderes: Es wird deutlich, dass die Betrachtung einer anderen Denk- oder Vorstellungsebene, also das Einnehmen einer neuen Perspektive nicht nur einfach eine andere Sicht darstellt, sondern tatsächlich einen *Erklärungsgewinn* bedeutet.

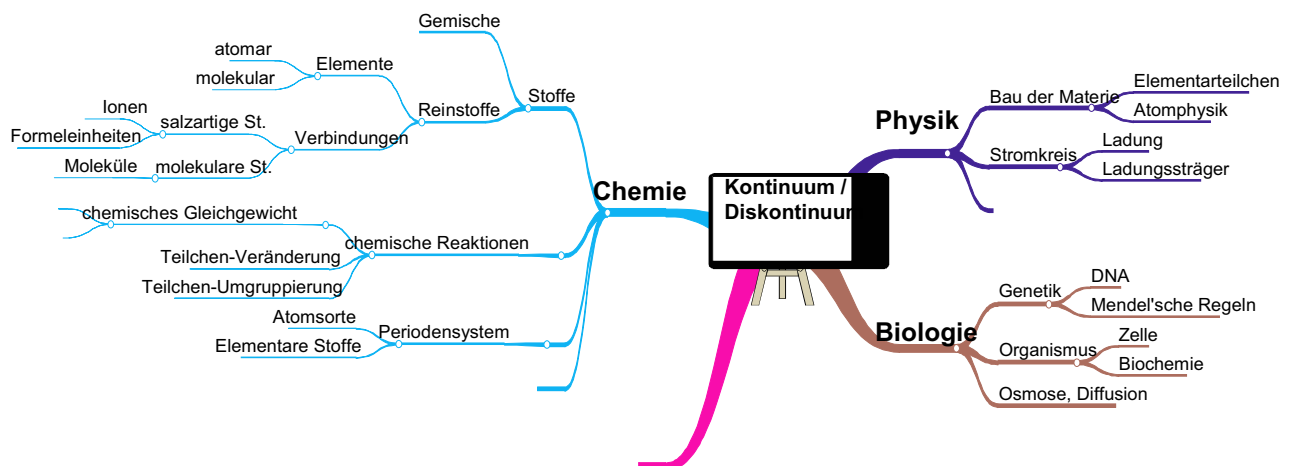


Abb. 10. Der Knotenpunkt »Kontinuum / Diskontinuum« in den naturwissenschaftlichen Fächern

den Menschen) »höherwertige« Energie daraus zu erhalten. Die Energie ist also noch da, sie ist aber (zumindest für menschliche Zwecke) »entwertet«. Thermodynamisch lässt sich das mit dem Entropiebegriff beschreiben. Es gibt inzwischen auch Unterrichtsvorschläge, bei denen dieser Begriff in der Mittelstufe eingeführt wird.

Von anderer Seite wird vorgeschlagen, bei dem eigentlich physikfremden, anthropomorphen Begriff »Energieentwertung« zu bleiben und dieses Thema auch rein qualitativ zu behandeln. Energie hoher Temperatur ist »wertvoll«; wird die Temperatur während der Energieumwandlung niedriger, so ist die Energie im Endzustand weniger »wertvoll«, sie

Mit Hilfe von Teilchenmodellen werden einige Eigenschaften von Stoffen erklärbar und (innerhalb bestimmter Grenzen) vorhersagbar. Dies gelingt jedoch nur, wenn man akzeptiert, dass für die Ebene dieser Teilchen andere Gesetzmäßigkeiten und Regeln gelten als für die Ebene der Stoffe und Phänomene. Es erfordert also eine Abkehr von bekannten und festgelegten Denkmustern – ähnlich, wie es ein Hineinversetzen in verschiedene Perspektiven auch in anderen Bereichen erfordert (Sozialstrukturen, Wirtschaftssysteme). Ein Verständnis des Stoff-Teilchen-Konzepts bedeutet demnach nicht nur ein Lernen von Begriffen, sondern die Fähigkeit, sich in andere Perspektiven versetzen zu können und

bestehende Erklärungsmuster hinterfragen und verlassen zu können. Ein Ziel von Unterricht muss es dabei sein, den Lernenden den Zusammenhang zwischen beiden Ebenen aufzuzeigen, um so u. a. ein Übersetzen von Fach- oder Alltags- und Fachbegriffen zu ermöglichen (Unterricht als »Dolmetscher«).

Gerade dieses Übersetzen fällt Lernenden oftmals schwer, wie Praxiserfahrungen von Lehrkräften und empirische Untersuchungen der fachdidaktischen Lehr-Lern-Forschung zeigen. Sehr häufig finden sich Mischkonzepte, in denen Schülerinnen und Schüler beide Ebenen »ineinander legen« (sog. »duale Denkweisen«, z. B. das Einzeichnen von Teilchen in ein Stoff-Kontinuum oder die Annahme, zwischen den Teilchen eines Stoffes befindet sich Luft). Ein fehlerhaftes Übertragungskonzept liegt auch vor, wenn Eigenschaften von einer Ebene auf die andere »wechseln« oder wenn sie gar nicht mit stofflichen Grundlagen in Verbindung gebracht werden, z. B. sog. »non-material properties«, die scheinbar unabhängig von Materie übertragen werden: »Der Zucker gibt seine Süße ab«; oder Eigenschaften, die von Stoffen auf Teilchen projiziert werden: »Kohlenstoffatome sind schwarz«. Sinnliche Eindrücke sind dabei häufig so dominant, dass chemische Erklärungen nicht akzeptabel erscheinen. So hören Chemielehrer häufig Äußerungen wie z. B.: »Der Formel nach ist es möglich, aus Kohlenstoffdioxid wieder Kohlenstoff zu gewinnen. Aber in Wirklichkeit geht es natürlich nicht, aus einem Gas einen schwarzen Feststoff heraus zu holen.«

Die Dominanz sinnlicher Wahrnehmungen wird ebenfalls bei der unsachgemäßen Annahme von Erhaltungskonzepten offenbar. So ist für Lernende ein Stoff noch (bzw. nicht mehr) vorhanden, solange der betreffende Gegenstand noch (bzw. nicht mehr) existiert: Ein rostiger Eisennagel ist danach aus dieser Sicht immer noch Eisen, ein angelaufenes Schmuckstück ist »schwarzes Silber«, ein verbranntes Stück Holz wurde auch materiell vernichtet. Ebenso können Veränderungen auf der Teilchenebene beschrieben werden, ohne dass Konsequenzen für die Stoffebene erkannt werden: »Brom-Moleküle haben zu Bromid-Ionen reagiert, aber wo ist die braune Flüssigkeit geblieben?«

Wie oben angedeutet, ist die getrennte Betrachtung von Kontinuum und Diskontinuum auch in den anderen Naturwissenschaften von Bedeutung: Wenn Phänomene wie z. B. Osmose und Diffusion makroskopisch erfasst und beschrieben sind, können sie durch zusätzliche Betrachtungen auf der Teilchenebene erklärt werden.

Die Molekulargenetik führt stoffliche Ausprägungen auf Strukturen von Teilchenverbänden (DNA) zurück.

Auch Phänomene aus der Elektrizitätslehre können auf der Teilchenebene betrachtet und modellmäßig erklärt werden. Die Forderung, dass der Ebenenwechsel auf jeden Fall reflektiert erfolgen muss, setzt dabei aber voraus, dass die Phänomene den Schülerinnen und Schülern auf der makroskopischen Ebene bekannt sein müssen. Entsprechendes gilt für das Kapitel »Wärmelehre«. So gelangt man in allen naturwissenschaftlichen Fächern zu einem gewinnbringenden Perspektivenwechsel.

Hindernisse und Vorschläge zur kumulativen Begriffsentwicklung und -anwendung

Um wahrnehmbare Phänomene der Stoffebene (Stoffeigenschaften, Prozesse) erklären zu können, sind Deutungen mit Hilfe von Teilchenmodellen hilfreich. Das Wechselspiel aus Experimenten und Modelldeutungen stellt dabei ein zentrales Vorgehen der Wissenschaft Chemie dar und sollte auch im Unterricht eine Verständnis schaffende Funktion haben. Dazu ist es jedoch notwendig, die jeweilige Betrachtungsebene eindeutig zu kennzeichnen: Betrachten wir Gegenstände, Stoffe oder Teilchenmodelle? Welche Bedeutung hat der Begriff »Teilchen« im Alltag, welche in der Chemie? Ferner muss den Lernenden einsichtig werden, welchen Nutzen sie aus der Konstruktion und Anwendung von Teilchenmodellen ziehen können; d.h., sie müssen Gelegenheit bekommen, diese Vorstellungen möglichst häufig auf verschiedene Phänomene anzuwenden. Für den Unterricht bedeutet dies ein ständiges Wechselspiel zwischen Phänomen und Deutung, also wechselseitige Betrachtungen der Gegenstände, der Stoffe und der Teilchenmodelle. Bei bildlichen Darstellungen ist ebenfalls auf eine saubere Trennung der Betrachtungsebenen zu achten. Werden Bilder von Teilchen verwendet, sollten diese nicht vor einem Hintergrund gezeichnet werden, der suggeriert, es gebe Teilchen, die in einem Kontinuum eines Stoffes existierten. Das Beispiel in Abbildung 11 zeigt eine Möglichkeit der korrekten Darstellung.⁶ Folgende bekannte Leitlinien können für den Umgang mit Begriffen zu Stoffen und Teilchen formuliert werden:

- einheitliche und eindeutige Kennzeichnung der Betrachtungsebene
- Spezifikation der Begriffe, soweit möglich
- Anwendung von Teilchenmodellen zur Deutung und Vorhersage von Phänomenen auf der Stoffebene und der Ebene der Gegenstände

Nachfolgend sollen zunächst Überlegungen zu zentralen Begriffen der Stoffebene, anschließend zur Teilchenebene angestellt werden. Ein Ausblick auf die Deutung von Prozessen, insbesondere chemischen Reaktionen wird ebenfalls gegeben. (s. Abbildung 11)

Im Fach Chemie besteht eine besondere Schwierigkeit darin, dass Begriffe aus der phänomenologischen, stofflichen Ebene häufig zu irgendeinem Zeitpunkt des Unterrichtes auf der Teilchenebene neu definiert werden. Dazu gehören u. a. die Begriffe »Element«, »Oxidation«, »Säure«. Werden diese und ähnliche Begriffe in den anderen Fächern benötigt, muss vorher in jedem Falle geklärt werden, wie der Begriff im Chemieunterricht verwendet wird.

Es mag zunächst kompliziert erscheinen, im Unterricht Teilchen- und Stoffebene grundsätzlich sprachlich zu unterscheiden, aber die gewonnene Klarheit im Ausdruck ist gerade für weniger starke Schüler eine deutliche Hilfe.

⁶ leicht verändert nach <http://www.physik.uni-muenchen.de/didaktik/>





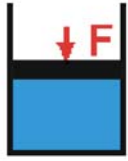
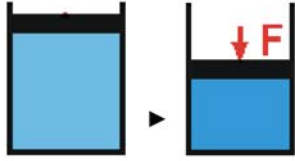



	Festkörper	Flüssigkeit	Gas
Form	 <p>Ein Festkörper behält die Form unabhängig vom Gefäß.</p>	 <p>Eine Flüssigkeit passt sich jeder Gefäßform an.</p>	 <p>Ein Gas nimmt den ganzen angebotenen Raum ein.</p>
Volumen	 <p>Ein Körper behält bei nicht zu großer Kraft sein Volumen bei.</p>	 <p>Ein Körper behält sein Volumen bei. (Inkompressibilität)</p>	 <p>Das Gasvolumen verändert sich. (Gase sind kompressibel.)</p>
Teilchenanordnung (Modellannahme: beobachtet unter einem "Supermikroskop")	 <p>Geringer Teilchenabstand; die ortsfesten Teilchen schwingen um die Ruhelage.</p>	 <p>Geringer Teilchenabstand; die Teilchen sind gegeneinander verschiebbar.</p>	 <p>Relativ großer Teilchenabstand; die Teilchen bewegen sich frei und regellos im Raum.</p>

Abb. 11. Darstellung der Aggregatzustände mit Hilfe eines Teilchenmodells

Stoffe und Teilchen

Alle materiellen Dinge, Gegenstände, Objekte oder Körper (im Chemieunterricht erfolgt keine Spezifikation dieser Begriffe) bestehen aus **Stoffen**. Gegenstände haben eine bestimmte Form, Größe, Masse und Temperatur. Die Betrachtung von Stoffen unabhängig von diesen Gegenstandseigenschaften stellt bereits die erste Abstraktionsstufe im Chemieunterricht dar.

Bsp.: Ein Eisennagel hat eine bestimmte Form, der Stoff Eisen jedoch nicht. Ein Eisennagel wird rostig, der Stoff Eisen nicht. Eisen und Rost sind zwei verschiedene Stoffe, der rostige Nagel besteht demnach aus den Stoffen Eisen und Rost.

Alle Stoffe sind diskontinuierlich, d.h. aus submikroskopisch kleinen, vorgebildeten und für einen Reinstoff charakteristischen **Teilchen** aufgebaut. *Hinweis:* Diese Teilchen dürfen nicht mit immer kleineren Stoffportionen verwechselt werden, die durch Teilen entstehen!

Beispiel: Nicht die kleinen, sichtbaren Zuckerkrystalle bezeichnen Chemiker als Teilchen des Zuckers, sondern die Moleküle, die diese Krystalle bilden. Neuerdings findet man in der Literatur den Vorschlag, anstelle von »Teilchen« von »Bausteinen«⁷ zu sprechen. Auf der Modellebene der Teilchen unterscheidet man solche Reinstoffe, deren Teilchen nur aus einer Atomsorte bestehen (elementare Stoffe) von solchen, deren Teilchen aus verschiedenen Atomsorten zusammengesetzt sind (Verbindungen).

Auf der Teilchenebene werden *Atomsorten* ebenfalls als Elemente bezeichnet, was zu der bereits erwähnten Schwierigkeit für die Lernenden führen kann. *Diese* Elemente bauen alle Verbindungen und damit alle Stoffe auf. Das Periodensystem der Elemente systematisiert *diese* Elemente. Die Symbole kennzeichnen *diese*

⁷ Chemkon 10 (2003) Heft 1, S. 10

Elemente; man sollte sie im Unterricht nicht aus Bequemlichkeitsgründen auch für die Kennzeichnung von Stoffen heranziehen.

Beispiel: Das Symbol »H« bezeichnet die Atomsorte Wasserstoff (mit einer definierten Anzahl an Protonen und Elektronen, die Anzahl der Neutronen variiert bei verschiedenen Isotopen).

Die notwendige Trennung von Teilchen- und Stoffebene bringt für den Unterricht der Sekundarstufe I eine sprachlich eindeutige Zuordnung mit sich: Stoffe werden mit Namen bezeichnet, Teilchen mit dem Zusatz »-Teilchen« oder »-Molekül«, »-Atom«, bzw. »-Ion« oder (falls bekannt) mit der Formel. Aus dem Wasserhahn kommt also kein »H₂O« sondern »Wasser«. Die häufigsten Teilchen in der Luft sind Stickstoff-Moleküle (»N₂ – Moleküle«).

Inwiefern dieser »reflektierte Perspektivenwechsel« darüber hinaus in den naturwissenschaftlichen Fächern von Bedeutung ist, muss in späteren Veröffentlichungen noch behandelt werden.

Bilanzierungen bei einer chemischen Reaktion

Zum Schluss sollen alle drei Knotenpunkte an einem Beispiel betrachtet werden:

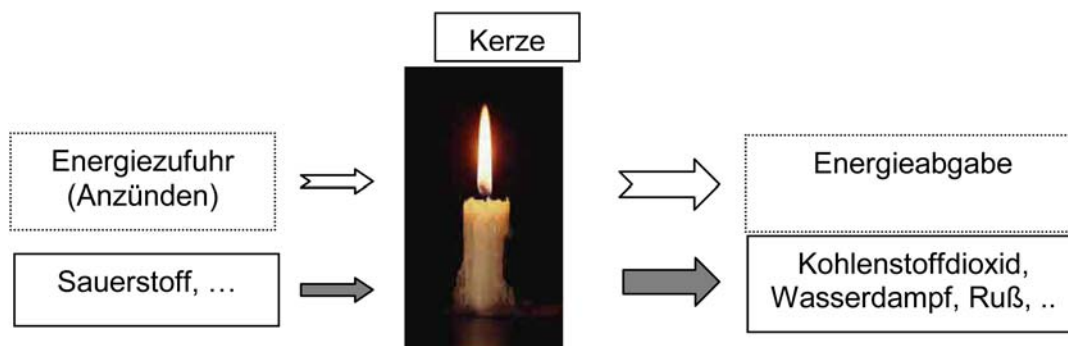


Abb. 12. Grafische Darstellung der Stoff- und Energieflüsse bei einer brennenden Kerze

Bei dem System »brennende Kerze«, treten zunächst scheinbar Widersprüche zum Satz von der Erhaltung der Masse und zum Energieerhaltungssatz auf. Einfache Bilanzierungsüberlegungen führen zu dem stofflichen Zufluss »Sauerstoff« und auf der Suche nach der angeblich verschwundenen Masse findet man auch leicht die Abflüsse »Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf, Ruß«. Einem geringen Zufluss von Energie durch den Vorgang des Anzündens steht eine dauerhafte Abgabe thermischer Energie an die Umgebung während des Brennens entgegen (vgl. Abbildung 12). Somit kann man die Kerze zu Recht als »Energieträger« bezeichnen. Wechselt man von der Kontinuums- zur Diskontinuumsebene, kann man Veränderungen der beteiligten Moleküle zum Beispiel durch Angabe einer Reaktionsgleichung beschreiben.

Schlussbemerkung

Im Laufe der Erstellung dieses Papiers haben wir eine große Zahl weiterer Beispiele erörtert. Diese alle hier aufzuzählen halten wir jedoch nicht für realisierbar

und notwendig. Eine ausführliche Diskussion auch von Einzelproblemen muss sich nun in den Fachzeitschriften anschließen. Die wichtigste Arbeit wird in den naturwissenschaftlichen Fachkonferenzen zu erledigen sein. Nach unserer Erfahrung wird es sich für alle Beteiligten lohnen.

Teilnehmerinnen und Teilnehmer an den Tagungen zum Thema

»Standards in den naturwissenschaftlichen Fächern« Die Autoren der vorliegenden Fassung sind im Folgenden durch einen Stern gekennzeichnet.

OSTD ARNOLD A CAMPO, Hagen [Tagungsleitung]

*Prof. Dr. Dr. GUNNAR BERG, Physik, Universität Halle-Wittenberg [GDNÄ]

*StD GABRIELE BORLINGHAUS, Staatliches Studienseminar Speyer

StD HANS-JÜRGEN ELSCHENBROICH, Medienzentrum Rheinland Düsseldorf

StD HEINZ-ULRICH GOSEMANN, Hameln

Prof. Dr. HARALD GROPENGEIßER, Biologiedidaktik Universität Hannover

StD Dr. IRMGARD HEBER, Mühlthal [DPG]

Prof. Dr. ULRICH KATTMANN, Biologiedidaktik Universität Oldenburg

*StD MATTHIAS KREMER, Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung (Gymnasien) Rottweil [Leitung Chemie; Endredaktion]

*StD JÜRGEN LANGLET, Studienseminar Lüneburg [VDBiol] [Leitung Biologie]

OSTD JOSEF LEISEN, Staatliches Studienseminar Koblenz

OSTD JOSEF MAIER, Gymnasium Unterrieden

*Prof. Dr. ILKA PARCHMANN, Chemie-Didaktik IPN Kiel

*StD Dr. WOLFGANG PHILIPP, Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung (Gymnasien) Esslingen [Leitung Physik]

Prof. Dr. BERND RALLE, Chemie-Didaktik Universität Dortmund [GDCh] [GFD]

StD Karsten Reckleben, Hamburg

*Prof. Dr. PETER REINHOLD, Physik-Didaktik Universität Paderborn

Dr. GERD RIEDL, Physik-Didaktik Universität Halle-Wittenberg

*Prof. Dr. GERHARD SCHAEFER, Asendorf [GDNÄ]
StD´ SABINE SCHMALSTIEG, Neuss
OStD´ Dr. ILONA SCHULZE, Leverkusen
*LRSD Prof. Dr. HEINZ WAMBACH, Bezirksregierung
Köln
LRSD Dr. RAINER WITTMANN, Bezirksregierung Det-
mold
StR JÖRG ZABEL, Verden

