



Knotenpunkte der Naturwissenschaften

Gemeinsame Fachsprache
der Naturwissenschaften
Energie, Entropie und
Struktur der Materie

Materialien Gymnasium



NW 1

IMPRESSUM

HERAUSGEBER

Landesinstitut für Schulentwicklung
Rotebühlstraße 131, 70197 Stuttgart

AUTORINNEN
UND AUTOREN

Bayer, Reinhard
Böck, Gabriele
Bühl, Hanspeter
Gilbert, Peter
Harder, Ernst
Hammer, Erika
Hansen, Carsten
Kranzinger, Franz
Kremer, Matthias
Müller, Ulrich
Nickolay, Hildegard
Obermann, Helmut
Plappert, Dieter
Schäfer, Alexander
Schatte, Sabine
Scheu, Horst
Schmidt, Marianne
Schwenk, Theophil
Stern, Gerhard
Zachmann, Petra

REDAKTION

Reinhard Bayer

DRUCK UND VERTRIEB

Landesinstitut für Schulentwicklung
Rotebühlstraße 131, 70197 Stuttgart, Fax: 0711/6642-102

© URHEBERRECHT

Dieses Heft darf im Rahmen des Urheberrechts auszugsweise für unterrichtliche Zwecke kopiert werden. Jede darüber hinausgehende Vervielfältigung ist nur nach Absprache mit dem Herausgeber möglich.

Soweit die vorliegende Handreichung Nachdrucke enthält, wurden dafür nach bestem Wissen und Gewissen Lizenzen eingeholt. Die Urheberrechte der Copyrightinhaber werden ausdrücklich anerkannt. Sollten dennoch in einzelnen Fällen Urheberrechte nicht berücksichtigt worden sein, wenden Sie sich bitte an den Herausgeber.

Bei weiteren Vervielfältigungsabsichten müssen die Urheberrechte der Copyrightinhaber beachtet bzw. deren Genehmigung eingeholt werden.

Januar 2006

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	5
1 KNOTENPUNKTE DER NATURWISSENSCHAFTEN	7
1.1 KNOTENPUNKT SYSTEME.....	8
1.1.1 Ordnungssysteme.....	8
1.1.2 Bezugssysteme.....	9
1.1.3 Dynamische Systeme.....	10
1.1.3a Regulation von dynamischen Systemen.....	11
1.1.3b Kreisläufe.....	12
1.2 KNOTENPUNKT ENERGIE.....	13
1.3 KNOTENPUNKT STOFFE UND TEILCHEN.....	15
1.4 KNOTENPUNKT GRÖßEN UND GRÖßENSYMBOLS.....	17
2 FACHSPRACHE	21
2.1 ENERGIE.....	22
2.1.1 Wichtige Begriffe.....	22
2.1.2 Begriffe und Formulierungen, die präzisiert werden sollen.....	26
2.1.3 Verzichtbare Begriffe.....	27
2.2 STROM, STROMSTÄRKE, ANTRIEB, WIDERSTAND.....	28
2.2.1 Analogien.....	28
2.2.2 Strom – Antrieb – Widerstand: Energiefluss.....	29
2.3. ENTROPIE.....	30
2.3.1 Wärme, Temperatur, thermische Energie.....	30
2.3.2 Übersicht zur weiteren Vereinheitlichung der Sprechweisen.....	37
2.4 STRUKTUR DER MATERIE (MODELL-EBENE).....	38
2.5 STOFFE.....	39
2.6 REAKTIONEN.....	40
ANHANG 1: ZUM PHYSIKALISCHEN ENTROPIEBEGRIFF.....	42
ANHANG 2: BEISPIELE FÜR DIE ANWENDUNG VON ENTROPIE-BETRACHTUNGEN.....	43
ANHANG 3: WIRKUNGSGRAD.....	44
ANHANG 4: ENTROPIE UND "UNORDNUNG".....	44
ANHANG 5: GIBBS-HELMHOLTZ-GLEICHUNG.....	45
3 MODELLE ZUR BESCHREIBUNG DER STRUKTUR VON MATERIE	46
3.1 VORBEMERKUNG.....	46
3.2 MODELLE ZUM DISKONTINUIERLICHEN AUFBAU DER MATERIE.....	47
3.2.1 Naturphänomene.....	48
3.2.2 Physik.....	48
3.2.3 Chemie und Biologie.....	49

Vorwort

Der naturwissenschaftliche Unterricht zielt vor allem darauf ab, den Schülerinnen und Schülern eine fundierte naturwissenschaftliche Grundbildung zu vermitteln. Darunter „versteht man die Fähigkeit, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, die die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommenen Veränderungen betreffen“ (vergleiche OECD 1999).

Diese naturwissenschaftliche Grundbildung wird nicht in einem Fach vermittelt, sondern im Zusammenspiel mehrerer Disziplinen mit eigenen thematischen und methodischen Schwerpunktsetzungen. Im Unterricht des Faches Naturphänomene betrachten die Schülerinnen und Schüler einzelne Phänomene ganzheitlich, ohne Blickrichtung auf einzelne naturwissenschaftliche Fächer. Die Fächer Biologie, Physik und Chemie nähern sich Sachverhalten auf spezifischen Erschließungsfeldern. Das Fach Naturwissenschaft und Technik ermöglicht es, Phänomene und Systeme unter verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten.¹

„Das disziplinäre Fachwissen ist die verlässliche Basis, auf der aufbauend fachübergreifendes Lernen dazu beiträgt, Problemstellungen aus Natur und Technik in ihrer Komplexität und Verflechtung begreifbar zu machen. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht wird damit seiner Bildungsaufgabe gerecht, fachspezifisches Wissen mit Perspektiven anderer Disziplinen zu verknüpfen“.²

Diese Verknüpfung kann nur gelingen, wenn die beteiligten Fächer ein Gerüst aufbauen, das nicht nur ihre fachspezifischen Inhalte und Konzepte trägt, sondern insgesamt einer ausbaufähigen naturwissenschaftlichen Grundbildung dient. Leider ist immer noch zu beobachten, dass naturwissenschaftlicher Unterricht zu sehr auf die innerfachlichen Belange zugeschnitten ist: So sind u.U. Beschreibungen zur Struktur der Materie in Chemie und Physik oder zu energetischen Abläufen in Biologie und Physik nicht aufeinander abgestimmt. Schülerinnen und Schüler fällt es schwer, konkurrierende Modelle und Begriffe miteinander zu vernetzen und zu einem konsistenten Bild zu vereinen, zumal sie über Umgangssprache und Präkonzepte noch mit weiteren Schwierigkeiten zu kämpfen haben.

Die Bildungsstandards definieren den „output“ des Unterrichts über Kompetenzen, die die Schülerinnen und Schüler erreichen sollen. Sie beschreiben weniger, „was wie zu unterrichten ist“ sondern gewähren einen großen unterrichtlichen Freiraum hinsichtlich Inhalte, Reihenfolge und Schwerpunktsetzungen. Diese Handreichung soll die Lehrerinnen und Lehrer bei der Planung ihres Unterrichts unterstützen. Dabei geht es um übergreifende naturwissenschaftliche Konzepte, die sich gegenseitig ergänzen, nicht miteinander konkurrieren und um konsistente Begriffsbildung.

Im ersten Abschnitt **„Knotenpunkte der Naturwissenschaften“** sind die gemeinsamen Themen und Konzepte der Naturwissenschaften sowie die verwendeten Größen tabellarisch zusammengestellt. Die Übersicht (Exzerpt der Bildungsstandards) soll zum einen auf die Berührungspunkte in den Naturwissenschaften aufmerksam machen, zum anderen die zeitliche und inhaltliche Planung des Unterrichts unterstützen.

¹ Aus „Leitgedanken zum Kompetenzerwerb für Naturwissenschaften“, Bildungsplan 2004

² Aus „Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung an der Schwelle zu einem neuen Jahrhundert“, (MNU, 1998)

Die in den einzelnen Fächern verwendete Fachsprache kann bei Schülerinnen und Schülern unnötige Verständnisprobleme aufbauen, wenn sie unzureichend an die Umgangssprache anknüpft und wenn sie in den gemeinsamen „Knotenpunkten“ uneinheitlich eingesetzt wird. Begriffsbildung verlangt von den Schülerinnen und Schülern einen Konstruktionsprozess. Dieser wird durch gleiche Begriffe unterstützt und durch verschiedene Sprechweisen eher behindert. Der zweite Abschnitt **„Fachsprache“** gibt hier Hilfestellung und enthält Vorschläge zu einer Begriffsreduktion.

Der Aufbau der Materie gehört zu den Kerninhalten der Chemie. Die hier entwickelten Modelle werden u.a. in der Physik aufgegriffen und zu einer zeitgemäßen Atomvorstellung (nicht. Bohrsches Atommodell!) ausgebaut. Auch hier sind Absprachen notwendig, um zum einen unnötige Doppelungen zu vermeiden und zum anderen ein konsistentes Verständnis aufzubauen. Dies wird im dritten Abschnitt **„Modelle zur Beschreibung der Struktur von Materie“** thematisiert.

An dieser ersten Handreichung der neuen Heftreihe NW (Naturwissenschaften) arbeiteten „Standardexperten“ aller beteiligten Fächer zusammen. Die Diskussionen in dem Team zeigten, dass sich die Beschäftigung mit den Konzepten der jeweils anderen Disziplin lohnt: Einige dieser Konzepte gewinnen durch leichte Modifizierungen an Allgemeingültigkeit und erleichtern den Schülerinnen und Schülern den Zugang zu den Naturwissenschaften. Die Diskussion um gemeinsame Begrifflichkeiten deckten einige Unschärfen auf. Manche Begriffe (insbesondere aus dem Graubereich zwischen Umgangssprache und Fachsprache) wurden sogar unter den Fachleuten gleicher Fächer unterschiedlich interpretiert. Im Unterricht fällt dies den Fachlehrern nicht auf –wohl aber den Schülern, die Unterricht von einer Vielzahl an Lehrern erhalten.

In dieser Handreichung werden über Sprache (Begrifflichkeiten) und übergreifende Konzepte die Gemeinsamkeiten der Naturwissenschaften hervorgehoben. Die Umsetzung an der Schule setzt die prinzipielle Bereitschaft der Kooperation und Kompromissbereitschaft voraus. Dem Aufwand stehen fruchtbare Diskussionen mit den Kolleginnen und Kollegen und neue Sichtweisen und Erkenntnisse gegenüber.

Für Schülerinnen und Schüler führt die übergreifende curriculare Planung (Schulcurriculum), abgestimmter Unterricht in den Knotenpunkten und gemeinsame Sprechweise zum Abbau von Hindernissen auf dem Weg zu einem tragfähigen und konsistenten Naturverständnis.

1 Knotenpunkte der Naturwissenschaften

Die Bildungsstandards beschreiben Kompetenzen und Inhalte über den Zeitraum von jeweils zwei Jahren, in Chemie und NwT sogar über drei Jahre. Die Gestaltungsfreiheit hinsichtlich Reihenfolge, methodischer Vorgehensweise, inhaltlicher Ausgestaltung, etc. führt zur Notwendigkeit gegenseitiger Abstimmung innerhalb der naturwissenschaftlichen Fachschaften:

- Wer führt welchen Begriff bzw. welches Konzept wann ein? Werden überhaupt in den Einzeldisziplinen mit den gleichen Begriffen und Konzepten operiert?
- Welche Teilaspekte grundlegender Themen werden wann, von wem und (falls relevant) über welche Inhalte im Unterricht behandelt?
- Auf was kann man wann zurückgreifen?

Gerade an „Knotenpunkten“ der naturwissenschaftlichen Fächer wird naturwissenschaftliche Kompetenz bei den Schülerinnen und Schülern nicht im einzelnen Fach, sondern durch die Beiträge verschiedener Disziplinen aufgebaut. Um die hier notwendigen Absprachen zu erleichtern, werden für die „Knotenpunkte“

- Systeme
- Energie und Entropie
- Stoffe und Teilchen
- Größen

die Bezüge zu den Bildungsstandards 2004 in Kurzform aufgeführt.

Kolleginnen und Kollegen der jeweils anderen Disziplinen können darin erkennen, wie und unter welchen Aspekten ein Thema oder Konzept ihres Unterrichts in der jeweils anderen Disziplin aufgegriffen wird, bzw. auf welche Kompetenzen und Inhalte sie zurückgreifen können. Sie haben auch die Möglichkeit, Ergebnisse der interdisziplinären Absprachen (wie z.B. Zuordnung in eine bestimmte Klassenstufe bzw. noch engere Terminierung oder Festlegung von Inhalten) einzutragen. Die Tabelle der Knotenpunkte in den Klassenstufen 5 bis 10 ist somit auch ein Instrument zur Entwicklung des Schulcurriculums.

1.1 Knotenpunkt Systeme

Systeme sind gedachte begrenzte Einheiten, die das Ziel verfolgen, durch Ordnen, Vergleichen, Regulieren und Erklären einen Teil der Wirklichkeit abzubilden. Der Systembegriff ist über die Naturwissenschaften hinaus ein tragfähiges Analyse- und Problemlöseswerkzeug. Alle Vorgänge in Natur und Technik sind als Kausalnetze voneinander abhängig. Folglich tragen alle Naturwissenschaften und die Technik zu deren Verständnis bei.

1.1.1 Ordnungssysteme

Klassenstufe (gemäß BS)	Unterrichtsfach	Bezug zum Bildungsstandard Inhalt – Fächeraspekte	Schulcurriculum	
			ggf. Konkretisierung/Ergänzung des Inhalts	Zeitpunkt
ab 5	Bio	Systematik von Tier- und Pflanzenreich funktionelle Kategorien (z.B. gleichwarm – wechselwarm)		
ab 7	Geo	Zonen der Erde (Temperatur-, Klima-, Vegetations-, Geozonen)		
ab 8	Ch	Periodensystem Stoffe pH-Skala Donor-Akzeptorprinzip Ordnung von Kohlenstoffverbindungen mithilfe funktioneller Gruppen		
	NwT	Verwendung der Ordnungssysteme der Basisfächer		
ab 9	Geo	Geosystem Erde		

1.1.2 Bezugssysteme

Klassen- stufe (gemäß BS)	Unter- richts- fach	Bezug zum Bildungsstandard Inhalt –Fächeraspekte	Schulcurriculum	
			ggf. Konkretisie- rung/Ergänzung des Inhalts	Zeit- punkt
5/6	NP	Temperaturskala		
ab 5	Alle Na- tur- wis- sen- schaf- ten	Koordinatensysteme		
	Geo	Gradnetz Klimadiagramm Nullniveau bei Höhenangaben		
ab 8	Ch	Periodensystem (Elektronegativität, Atombau)		
	NwT	Anwendung von Bezugssystemen der anderen Fächer		
ab 7	Ph	Bezugssysteme für Bewegungen elektrisches Potenzial (Diskussion des Nullniveaus)		

1.1.3 Dynamische Systeme

Klassen- stufe (gemäß BS)	Unter- richts- fach	Bezug zum Bildungsstandard Inhalt –Fächeraspekte	Schulcurriculum	
			ggf. Konkretisie- rung/Ergänzung des Inhalts	Zeit- punkt
ab 5	Geo	Systemebene: lokal – regional Grundstruktur unseres Sonnensystems		
	Bio	Systemebene: Organismus		
ab 7	Ph	Strom, Antrieb und Widerstand als Grundprinzip verschiedener Systeme		
	Geo	Systemebene: zonal		
	Bio	Systemebenen: Zelle, Organsysteme, Mensch		
ab 8	Ch	Diffusion		
	NwT	Betrachtung zunehmend komplexer Systeme: z.B. Wiese/See, Mensch, Erde und Weltall Vertiefung des Systembegriffs Modellbildungssystem		
ab 9	Geo	Systemebene: global(Geosystem Erde)		
	Bio	Systemebene: Ökosystem		
	Ph	Energietransporte Treibhauseffekt Radioaktiver Zerfall geschichtliche Entwicklung von Modellen und Weltbildern (z. B. deterministisches Chaos) Modellbildung und Modellbildungssysteme		

1.1.3a Regulation von dynamischen Systemen

Klassen- stufe (gemäß BS)	Unter- richts- fach	Bezug zum Bildungsstandard Inhalt –Fächeraspekte	Schulcurriculum	
			ggf. Konkretisie- rung/Ergänzung des Inhalts	Zeit- punkt
ab 7	Bio	Herz-Kreislaufsystem		
ab 9	Bio	Hormonsystem Nervensystem Stabilität eines Ökosystems		
	Ph	Modellbildung und Modellbildungssysteme einfache Schaltungen mit elektronischen Bau- teilen physikalische Abläufe im menschlichen Körper		
	NwT	Regelkreise und ihre Anwendung in biologischen, chemischen, geografischen, technischen Systemen Systemerhaltung		
	Geo	Isostasie Wirkungsgefüge im Zusammenhang von natür- lichen und anthropogenen Einflüssen auf die Erdatmosphäre		

1.1.3b Kreisläufe

Klassenstufe (gemäß BS)	Unterrichtsfach	Bezug zum Bildungsstandard Inhalt –Fächeraspekte	Schulcurriculum	
			ggf. Konkretisierung/Ergänzung des Inhalts	Zeitpunkt
5/6	NP	Wasserkreislauf der Erde Stromkreis		
ab 5	Geo	Wasserkreislauf der Erde (Verdunstung – Kondensation – Niederschlag)		
ab 7	Ph	Stromkreise mit den Aspekten: Antrieb (Ursache), Strom, Widerstand (Anwendung in verschiedenen Teilgebieten der Physik)		
	Bio	Herz-Kreislauf		
	Geo	Innertropische Zirkulation (Passatkreislauf) Mineralstoffkreislauf im System Vegetation-Boden (tropisch geschlossen – außertropisch offen)		
ab 8	Ch	Wiederverwertung eines Stoffes		
ab 9	Geo	Lithosphäre: Gesteinskreislauf, Wilson-Zyklus Atmosphäre: Regionale Windsysteme (z.B. Land-Seewind-System), Globale Zirkulation		
	NwT	Vertiefung von Stoffkreisläufen und damit verbundenen Energietransporten		
	Bio	Zusammenhang Fotosynthese – Zellatmung, Bedeutung von Produzenten, Konsumenten und Destruenten für Stoffkreisläufe		
10	Ch	Kohlenstoffkreisläufe der belebten und unbelebten Natur Wiederverwertung eines Stoffes		

1.2 Knotenpunkt Energie

Der Energiebegriff spielt in allen naturwissenschaftlichen Fächern über alle Klassenstufen hinweg eine zentrale Rolle. Entropie wird ab der 9. Klasse thematisiert.

Klassenstufe (gemäß BS)	Unterrichtsfach	Bezug zum Bildungsstandard Inhalt –Fächeraspekte	Schulcurriculum	
			ggf. Konkretisierung/Ergänzung des Inhalts	Zeitpunkt
5/6	Geo	Bildung der Kohlelagerstätten, Förderung und Verwendung des Rohstoffs Kohle und dessen raumwirksame Folgeprozesse Bedeutung des nachwachsenden Rohstoffs Holz, Gefährdung des Waldes Nachhaltigkeit Rolle von Erdöl und Erdgas für die Energiewirtschaft und die Produktionsketten in den Wirtschaftsräumen Europas.		
	Bio	Energie in der Nahrung, Stoffwechsel als Energiefluss Sonnenlicht als Energieträger		
	NP	Temperaturzonen der Flamme		
7/8	Geo	Entstehung und Förderung von Erdöl und Erdgas und ihre wirtschaftliche Bedeutung in den Trockenraumregionen der Erde Klimazonen der Erde durch unterschiedliche Sonneneinstrahlung Energietransport durch Wind und Wasser		
	Bio	Energieumwandlung bei Fotosynthese und Atmung (Wortgleichung) Licht als Energieträger, energiereiche Stoffe (Glucose), energiearme Stoffe (Kohlenstoffdioxid und Wasser) Bedeutung der Nährstoffe für die Energiebereitstellung im Organismus		
	Ph	Einführung von Energie Qualitative Einführung von mechanischen und elektrischen Energietransporten sowie Energiespeichern		

Klassenstufe (gemäß BS)	Unterrichtsfach	Bezug zum Bildungsstandard Inhalt –Fächeraspekte	Schulcurriculum	
			ggf. Konkretisierung/Ergänzung des Inhalts	Zeitpunkt
8 bis 10	Ch	Energetische Aspekte von Reaktionen: exotherm, endotherm, Aktivierungsenergie Kohlenwasserstoff und Wasserstoff als Energieträger Energie liefernde Reaktionen: Verbrennung (Oxidation) von Kohlenwasserstoffen und von Wasserstoff Organische Stoffe als wichtige Energieträger		
	NwT	Energie und Energieströme als Leitgedanken in allen Unterrichtseinheiten		
9/10	Geo	Nutzung von Geothermie Energetische Prozesse in der Atmosphäre Energieeffiziente und sparsame Nutzung von Energieträgern Magmaströme als Antrieb für geotektonische Prozesse Energieumwandlungsprozesse zur Erklärung von Erdbeben und Tsunami.		
	Bio	Fotosynthese: Nutzung von der mit dem Licht transportierten Energie zum Aufbau von organischen Energieträgern Atmung: Energie für Stoffwechselfvorgänge durch die Oxidation von Glucose Energiefluss im Ökosystem		
	Ph	Verknüpfung verschiedener Themenbereiche mithilfe der Energie Quantitative Energiebilanzen Energieaufwand bei Entropieerzeugung Verantwortungsvoller Umgang mit Energie		

1.3 Knotenpunkt Stoffe und Teilchen

Alle materiellen Dinge sind bestehen aus Stoffen. Diese sind diskontinuierlich, d.h. aus submikroskopisch kleinen charakteristischen Teilchen aufgebaut. Die Auseinandersetzung mit der Thematik stellt ein ständig differenzierter werdendes Wechselspiel zwischen der Betrachtung der Stoff- und Teilchenebene dar. Im Unterricht sollte zwischen Stoff- und Teilchenebene deutlich unterschieden werden.

Klassenstufe (gemäß BS)	Unterrichtsfach	Bezug zum Bildungsstandard Inhalt –Fächeraspekte	Schulcurriculum	
			ggf. Konkretisierung/Ergänzung des Inhalts	Zeitpunkt
5/6	NP	Aggregatzustände, Phasenübergänge Luft: Bedeutung von Sauerstoff Lösungsbedingungen von Stoffen in Wasser		
	Geo	Aggregatzustände, Phasenübergänge Luft, Gestein, Mineral und Boden		
ab 7	Geo	Mineralstoffe		
	Bio	Nährstoffe, Mineralstoffe, Ergänzungsstoffe Wortgleichung: Fotosynthese, Zellatmung Osmose		
ab 8	Ch	Stoffteilchen-Modell* einfaches Atommodell* Molekül* chemische Formel (z.B. CO ₂)* Reaktionsgleichung* Salze *siehe auch Kapitel Modelle zur Beschreibung der Struktur von Materie		

ab 9	Geo	Kristalle (phänomenologische Betrachtung)		
	Bio	Bedeutung von Produzenten, Konsumenten und Destruenten für Stoffkreisläufe, Moleküle modellhaft (keine Formeln): Kohlenhydrate, Fette, Proteine, DNA, ATP Summenformelgleichung der Fotosynthese/ Zellatmung		
	Ph	Struktur der Materie zeitgemäße Atomvorstellung (Atomhülle, Atomkern) Kernspaltung, Radioaktivität		
	Ch	Kern-Hülle-Modell des Atoms (Energienstufen) Ionen, Ionengitter Moleküle: polare und unpolare Moleküle, räumlicher Aufbau , Makromoleküle, inter- und intramolekulare Wechselwirkungen Massenverhältnisse bei chemischen Reaktionen		
	NwT	Verwendung der Fachbegriffe aus den Basiswissenschaften z.B. bei Grundnährstoffen, Zusatzstoffe der Nahrung, Nachweisreaktionen, Stoffkreisläufe		

1.4 Knotenpunkt Größen und Größensymbole

Die Tabelle enthält Größen und Größensymbole, die gemäß der Bildungsstandards in den naturwissenschaftlichen Fächern eingeführt werden. Sie dient der Planung im Rahmen des Schulcurriculums. Durch Absprachen der naturwissenschaftlichen Fachschaften wird erreicht:

- Vermeidung unnötiger Mehrfacheinführungen von Größen
- Verlässliche Kenntnisse und Fertigkeiten, auf die alle Fächer zurückgreifen können, z.B. ist es für die Unterrichtsplanung im Fach Chemie oder NWT relevant, ob Schülerinnen und Schüler in Physik gelernt haben, selbstständig Spannung messen können und auch wissen, was sie messen.
- Erkenntniszuwachs durch gezieltes Aufgreifen und Erweitern von Vorwissen
- Vernetzung von Wissen und Fertigkeiten, beispielsweise durch interdisziplinäre Verzahnung von Theorie (Grundlagen Disziplin A) und Praxis (Anwendung Disziplin B).

Größe	Größensymbol <small>3,4</small>	Einheit	Einführung (evt. nur als aus dem Alltag bekannte Kenngröße)		Einführung als Größe mit Definition und Messmethoden* ⁵		Weiteres Aufgreifen	
			Klasse und evt. Halbjahr	Fach	Klasse und evt. Halbjahr	Fach	Inhalt, Klasse und evt. Halbjahr	Fächer
Strecke (Entfernung, Höhe)	s							
Fläche	A							
Volumen	V							
Masse	m							

³ Änderungen einer Größe sollen mit einem Δ gekennzeichnet werden.

⁴ Manche Größen sind Vektoren. Es wurde an dieser Stelle nur der Betrag angegeben.

⁵ Manche Größen sind im Bildungsplan nur qualitativ zu behandeln. Es wird vorgeschlagen, das hier entsprechend zu markieren („nur qualitativ“). Wenn die Größe im Rahmen des Schulcurriculums quantitativ behandelt wird, kann das hier vermerkt werden. Auch Vereinbarungen über die vektorielle Verwendung von Größen können hier vermerkt werden.

Größe	Größen- symbol	Ein- heit	Einführung (evt. nur als aus dem Alltag bekannte Kenngröße)		Einführung als Größe mit Definition und Messmethoden		Weiteres Aufgreifen	
			Klasse und evt. Halb- jahr	Fach	Klasse und evt. Halb- jahr	Fach	Inhalt, Klas- se und evt. Halbjahr	Fächer
Massen- dichte	ρ							
Zeit	t							
Geschwin- digkeit	v							
Beschleu- nigung	a							
Frequenz	f							
Amplitude	s							
Druck (Luftdruck)	p							
Temperatur	T							
Energie	E							
Energie- stromstärke Leistung	P							
Entropie	S							
El. Strom- stärke	I							
El. Span- nung	U							
El. Ladung	Q							

Größe	Größen- symbol	Ein- heit	Einführung (evt. nur als aus dem Alltag bekannte Kenngröße)		Einführung als Größe mit Definition und Messmethoden		Weiteres Aufgreifen	
			Klasse und evt. Halb- jahr	Fach	Klasse und evt. Halb- jahr	Fach	Inhalt, Klas- se und evt. Halbjahr	Fächer
Kraft	F							
Zentripetal- kraft	F_{Zp}							
Impuls	P							
Drehimpuls	L							
Gravitati- onsfeldstär- ke	G							
El. Feldstär- ke	E							
Mag. Fluss- dichte	B							

Größe	Größen- symbol	Ein- heit	Einführung (evt. nur als aus dem Alltag bekannte Kenngröße)		Einführung als Größe mit Definition und Messmethoden*		Weiteres Aufgreifen	
			Klasse und evt. Halb- jahr	Fach	Klasse und evt. Halb- jahr	Fach	Inhalt, Klas- se und evt. Halbjahr	Fächer
pH-Wert								
Stoffmenge	n							
Teilchenanzahl	N							
Teilchen- masse	m							
Molare Masse	M							

2 Fachsprache

Wird Arbeit geleistet? Fließt Strom? Wird Energie erzeugt? Gibt es Energie in Form von Wärme? Wird in einem Kraftwerk Kraft erzeugt? Man kann beliebig viele Beispiele heranziehen, die aufzeigen, dass sorgloser Umgang mit der Sprache in den Naturwissenschaften zu erheblichen Irritationen führen kann. Wie sollen Lernende den Energieerhaltungssatz verinnerlichen, wenn gleichzeitig von Energieverbrauch die Rede ist? Welches Bild vermitteln die Naturwissenschaften, wenn die Schülerinnen und Schüler im Fach A bei Formulierungen gerügt werden, die im Fach B von der Lehrkraft selbst verwendet werden?

Die meisten Problemfälle der sprachlichen Ungenauigkeit sind schon lange bekannt – trotzdem verursachen sie immer noch Missverständnisse im Unterricht, die das Lernen erschweren. Die folgende Zusammenstellung führt neben den bekannten Beispielen auch neue Problemfälle auf. So muss beispielsweise stärker als bisher zwischen Wahrnehmung und Messung unterschieden werden (Bildungsstandard Physik): Wie halten wir es dann mit „rotem Licht“? Wenn nur die sinnliche Wahrnehmung und nicht die Lichteigenschaft „rot“ ist, wie drückt man das nun korrekt aus? Welche Messgrößen entsprechen dem umgangssprachlichen Begriff „Wärme“?

Bei der Diskussion um eine **gemeinsame Fachsprache**⁶ geht es u.a. um die Fragen:

- Werden in den Naturwissenschaften für gleiche Sachverhalte auch die gleichen Formulierungen verwendet? Weiß die eine Fachschaft überhaupt, welche Sprachregelungen in der anderen Fachschaft getroffen wurden?
- Wenn sich in den Fachsprachen der Disziplinen unterschiedliche Terminologien eingebürgert haben, wird den Schülerinnen und Schülern auch der jeweilige Zusammenhang zwischen den konkurrierenden Begriffen vermittelt?
- Kann die Flut von Fachbegriffen reduziert werden?
- Korrespondieren umgangssprachliche oder pseudowissenschaftliche Formulierungen mit der Fachwissenschaft?

Die Diskussion über Sprache in den Naturwissenschaften (u.a. Bildungsstandards, Fachartikel⁷) hat viele verunsichert. Was „darf man noch so sagen wie früher“, was nicht? Die nun folgenden Vorschläge über gemeinsame Fachsprache sind nicht dogmatisch zu verstehen. Es geht nicht darum, Umgangssprache und spezifische Fachsprache zu eliminieren. Beide haben an der richtigen Stelle ihren Platz. Die umgangssprachliche Formulierung kann Ansatzpunkt für ein Unterrichtsgespräch sein, bei dem am Ende eine altersgemäße Formulierung in der Fachsprache steht. Zumeist beweist auch ein Schüler, eine Schülerin durch die Fähigkeit, einen Sachverhalt umgangssprachlich darzustellen, eine größere Kompetenz als durch „Nachplappern“ eines Lehrsatzes. Auch die spezifische Fachsprache ist unverzichtbar, in ihr wird unter Experten kommuniziert und publiziert (Schulbücher und Fachliteratur). Eine Reduktion der Fachbegriffe ist dennoch möglich (z.B. potenzielle Energie, freie Energie, Enthalpie, Exergie - siehe hinten)⁸.

⁶ Fachsprache ist natürlich nur eingeschränkt flexibel. Zumeist sind Begriffe wissenschaftlich festgelegt und finden sich in den verwendeten Schulbüchern. Gemeint sind hier vorrangig Formulierungen in den Naturwissenschaften, die nicht im eigentlichen Sinne durch die Fachwissenschaft definiert sind.

⁷ Siehe z.B. Naturwissenschaften im Unterricht Physik Ausgabe 3/05 Heft 87 Sprache

⁸ Die hier vorgeschlagene Reduktion hat durchaus fachdidaktische Konsequenzen (insbesondere bei Verzicht auf „potenzielle Energie“ und „Arbeit“).

Vorsichtig sind Begriffe zu verwenden, die aus der Fachsprache kommend in die Umgangssprache eingeflossen sind oder umgekehrt (z.B. Wärme⁹, mir ist warm).

Hauptsächlich geht es um die Vermeidung unbedachter Formulierungen, die bei Schülerinnen und Schülern ein falsches Bild vermitteln (Energieverbrauch) und um die Einführung von Formulierungen, die den wissenschaftlichen Hintergrund stärker hervortreten lassen („Energie, die in einem bewegten Körper, im Gravitationsfeld, ... gespeichert ist“ statt „kinetische Energie, Lageenergie, ...“).

Schließlich und letztlich soll die Tabelle auch den Kolleginnen und Kollegen helfen, die die verschiedenen Konzepte der jeweils anderen Fachbereiche nicht kennen und möglicherweise mit deren Begrifflichkeiten von Schülerseite konfrontiert werden (z.B. Energiestromstärke).

2. 1 Energie

2.1.1. Wichtige Begriffe

Die Energie ist eine Erhaltungsgröße

Bei allen Überlegungen sollte dieser Erhaltungsgedanke vorbereitet und zunächst als Faktum hingestellt werden. Bilanzierungen auf der Grundlage festgelegter Systemgrenzen sollten von Anfang an angesprochen werden.

Energie ist an einen „Träger“ gekoppelt

Beispiele veranschaulichen den Energiebegriff in den unteren Klassenstufen.

Wichtig ist hierbei, dass zusammen mit der Energie IMMER eine zweite mengenhafte Größe „mitfließt“, allerdings mit unterschiedlichen „Transportgeschwindigkeiten“. Deshalb sollte – WENN die Trägervorstellung verwendet wird! – sensibel darauf geachtet werden, dass die Trägervorstellung nicht naiv gehandhabt wird und aus dieser Trägervorstellung ein Rucksackmodell wird!

Energieträger Stoffe, Licht,

evtl.: elektrische Ladung, Impuls und Drehimpuls, Entropie

Wenn die „Trägervorstellung“ verwendet wird, sollten evtl. komplexe Zusammenhänge (Bsp. Wasserkreislauf in einer Heizungsanlage, in der Gravitationspotenzialdifferenz bzw. Pumpendruckdifferenz als Antrieb und Wasser bzw. Entropie als „Träger“ „durcheinander spielen“)

alternativ

Energieformen

z.B. (Bewegungs-) kinetische, (Lage-) potenzielle, thermische, elektrische, chemische Energie ...

⁹ Wärme wurde in der Fachliteratur schon immer in unterschiedlichen Bedeutungen verwendet.

Formulierungsbeispiele

- Licht transportiert Energie statt: Licht ist eine Energieform
- Energie wird thermisch zugeführt früher: Wärme wird zugeführt
Energie und Entropie werden zugeführt
- Energie wird mechanisch zugeführt früher: mechanische Arbeit wird verrichtet
Energie und Impuls werden zugeführt
- Die Begriffspaare Wärme / Kälte und warm / kalt stammen aus der Umgangssprache und dem Empfindungsbereich. Sie müssen mit den physikalischen Größen Temperaturen / Energie und Entropie in Verbindungen gebracht werden.

Umgangssprache gebräuchliche Fachsprache	Erläuterungen zu weiterhin verwendeten Begriffen
Mir ist warm / ich friere ...	Subjektive Wahrnehmung, nicht messbar
Bei der Reaktion wird Wärme frei.	Die Reaktion läuft unter Abgabe von thermischer Energie ¹⁰ ab.
Die Reaktion läuft nur unter Wärmeaufnahme ab.	Die Reaktion läuft nur unter Aufnahme von thermischer Energie ab.
Wärme­kraftwerk Wärme­kraftmaschine Kraftwerke	Technische Bezeichnungen
Abwärme	Für den <u>betrachteten Prozess</u> nicht weiter nutzbare thermische Energie
Strahlungs- und Wärmehaushalt	Beschreibung der Energiebilanz
Es gibt wechselwarme/gleichwarme Tiere.	Es gibt Tiere, die keine/eine konstante Körpertemperatur haben.
Verbrennungswärme	Die bei der Verbrennung einer definierten Portion eines Stoffes abgegebene thermische Energie
Physikalischer Brennwert	Thermische Energie, die bei der Verbrennung einer definierten Menge eines Stoffes abgeben wird (bis Kl.10) Molare Standardreaktionsenthalpie einer Verbrennungsreaktion (Kurstufe)
Physiologischer Brennwert	Biologisch nutzbarer Teil des physikalischen Brennwertes
Innere Energie	die Energie eines Systems/Köpers

¹⁰ Die hier neu intendierten Sprechweisen sind fett gedruckt.

Umgangssprache gebräuchliche Fachsprache	Erläuterungen zu weiterhin verwendeten Begriffen
Antrieb für chemische Reaktionen	Physik (Analogiekonzept): chemisches Potenzial $\Delta\mu$ Chemie / Biologie (Kurstufe, Bilanzierungskonzept): Änderung der freien Enthalpie ΔG ($\Delta G = - \Delta\mu$)
Nahrung enthält Energie Nährstoffe enthalten Energie	Nahrung enthält Energie (KI. 5/6) Nahrung enthält Nährstoffe, Nährstoffe sind Energieträger
Energetische Kopplung	Biologie (Kurstufe): Energetische Kopplung
Spannungsenergie	Spannungsenergie Energiespeicher: Energie, die in einem elastischen Körper (Feder, Gummi, Muskel, ...) gespeichert ist
Kinetische Energie	Kinetische Energie Energiespeicher: Energie, die in einem bewegten Körper gespeichert ist. Energieträger Impuls
Lageenergie, Höhenenergie, Gravitationsenergie	Lageenergie, Höhenenergie, Gravitationsenergie Energiespeicher: Energie, die im Gravitationsfeld gespeichert ist
Rotationsenergie	Rotationsenergie Energiespeicher: Energie, die in einem rotierenden Körper gespeichert ist. Energieträger Drehimpuls
Lichtenergie, Solarenergie	Mit Licht strömt Energie (KI.5) Elektromagnetische Energie (Physikalische Erläuterung im Wellenbild erst in der Kursstufe) Energiequant (Physikalische Erläuterung im Photonenbild erst in der Kursstufe)
farbiges Licht (rotes, gelbes ... Licht)	Licht, das eine bestimmte Farbwahrnehmung auslöst Einordnung ins elektromagnetische Spektrum Photonen (Physik in der Kursstufe)
Fotosynthese	Lichtenergie wird in chemische Energie umgewandelt alternativ: Energie wechselt vom Träger Licht auf den Träger Stoff

Umgangssprache gebräuchliche Fachsprache	Erläuterungen zu weiterhin verwendeten Begriffen
Licht wird absorbiert	Energie wird aufgenommen (Kl. 5) Energie wird absorbiert (Kl. 10)
Röntgenstrahlung, UV Strahlung, Kurzwelliges, langwelliges Licht, IR Strahlung, Wärmestrahlung, Handy, Mikrowelle	nicht sichtbares optisches Spektrum, Farben (ab Kl. 7; Wahrnehmung) Energiereiches, energiearmes Licht (bis Kl. 10)
Masse kann in Energie umgewandelt werden Masse - Energieäquivalenz	Relativitätstheorie: Energie und Masse beschreiben die <u>gleiche</u> physikalische Größe Oder Energie und Masse sind die gleichen physika- lischen Größen Das Gesetz von der Erhaltung der Masse gilt im Rahmen der Messgenauigkeit

2.1.2. Begriffe und Formulierungen, die präzisiert werden sollen

Begriffe und Formulierungen, die präzisiert werden sollen.	Angestrebte Fachsprache
Wärme	Je nach Kontext verschiedene Bedeutung: thermische Energie Entropie Wärmeempfindung Temperatur, ...
Hier ist es warm (kalt)	Die Temperatur ist hoch (tief).
Energie-Entwertung	Entropieerzeugung
Ein System (Organismus, ...) gibt Wärme ab (nimmt ... auf).	Das System gibt thermische Energie ab (nimmt ... auf). Das System gibt Entropie ab (nimmt ... auf). Das System gibt Entropie und Energie ab (nimmt ... auf).
Energieverlust	Ungenutzt aus dem System entweichende Energie
Energieverbrauch / Energieerzeugung	Energieumwandlung
Energie im Ökosystem	Energiestrom oder Energiefluss im Ökosystem Energieumwandlung, Bilanzierung
mechanische Arbeit	mechanische Energiezufuhr oder -abgabe auf mechanischem Wege
Organische Stoffe als <i>Energiequelle</i> (Glucose, Stärke, Erdöl..)	Organische Stoffe sind Energieträger
alternative Energie	Nutzung regenerativer Energieträger (Solar, Wind, Geothermie, Gezeiten, Biomasse, ...)
fossile Energie	Fossile Energieträger
Energie in Form von ATP „Energiekleingeld“	In ATP gespeicherte Energie
Leistung	Physikalische Leistung Alternativ Energiestromstärke
Molmasse	Molare Masse

2.1.3 Verzichtbare Begriffe

Begriffe, die zwar weiter benutzt werden können, jedoch in den Standards nicht mehr vorgeschrieben sind.	
Enthalpie	auf diesen Begriff wird in S I verzichtet
Änderung der freien Enthalpie ΔG	auf diesen Begriff wird in S I verzichtet
Freie Energie	auf diesen Begriff wird in S I verzichtet
Arbeit	auf diesen Begriff wird verzichtet
Energiegewinnung	auf diesen Begriff wird verzichtet
Potenzielle Energie	auf diesen Begriff kann verzichtet werden

2.2 Strom, Stromstärke, Antrieb, Widerstand

2.2.1 Analogien

Strom, Stromstärke, Antrieb, Widerstand sind übergeordnete Begriffe.

Strom	Stromstärke	Antrieb	Widerstand
Energiestrom	Energiestromstärke (Leistung)	In der Trägermodellvorstellung: an einen Träger gekoppelt Energie fließt immer zusammen mit einer anderen mengenartigen Größe	
Elektrischer Strom	Elektrische Stromstärke	elektrische Potenzialdifferenz (Spannung)	Elektrischer Widerstand
Flüssigkeiten oder Gasen	Stromstärke von Flüssigkeiten oder Gasen	Druckunterschied	Strömungswiderstand
Entropiestrom	Entropiestromstärke	Temperaturunterschied	Entropiewiderstand (z.B. Dämmung)
Chemische Reaktion	Umsatzrate	Chemische Potenzialdifferenz (freie Reaktionsenthalpie)	Reaktionswiderstand (z.B. kinetische Hemmung)

Speziell elektrischer Strom:

Zwei Ebenen:

- **Ladungsstrom**, elektrische Ladung, elektrische Stromstärke $I = Q/t$
- Ladungsträgerstrom, Bewegung von Ladungsträgern: Elektronen, Ionen, Löcher (Defektelektronen)

Vermeidung der Begriffe:

- **Technische Stromrichtung**
- **Konventionelle Stromrichtung**

2.2.2 Strom – Antrieb – Widerstand: Energiefluss

Umgangssprache Präkonzepte gebräuchliche Fachsprache	Gemeinsame Fachsprache bzw. ergänzende Erläuterung
Wasserkraft, Windkraft, Gezeitenkraftwerk	Mechanische Energie, die zusammen mit Energieträgern: Wasser, Luft usw. fließt Druckdifferenzen sind Antrieb für diese Ströme
Konvektion	Konvektion Thermische Energie, die zusammen mit Energieträgern, Wasser, Luft usw. fließt; Entropie fließt mit
Wärmeleitung	Wärmeleitung Thermische Energie, es fließt kein Stoff sondern nur Entropie mit; Energieträger Entropie
Wärmestrahlung	Elektromagnetische Strahlung beim Temperaturstrahler Es fließt Entropie und Energie mit dem Energieträger „Licht“.
Magnetische Energie	Magnetische Energie Energie, die in einem magnetischen Feld gespeichert ist
Elektrische Energie	Elektrische Energie Energie, die in einem elektrischen Feld gespeichert ist (z.B. Plattenkondensator) oder Energie, die zusammen mit elektrischer Ladung fließt (z.B. Gleichstromkreis)
Elektromagnetische Energie	Elektrisches und magnetisches Feld vermitteln zusammen den Energiestrom
Im Konzentrationsgefälle steckt Energie	Das Konzentrationsgefälle (Chemie/ Biologie) bzw. die chemische Potenzialdifferenz (Physik) ist der Antrieb für den Diffusionsstrom Osmose, Elektrolyse Halbleiter

2.3. Entropie

2.3.1 Wärme, Temperatur, thermische Energie

Alle Unterrichtsfächer, in denen diese Thematik vorkommt, werden chronologisch betrachtet. Vorschläge, die zur Vereinheitlichung der Sprechweisen und Begriffsverwendung dienen, werden vorgestellt. So soll der Bezug zum vorangegangenen Unterricht in anderen Fächern erleichtert werden.

5/6	Naturphänomene + Biologie + Erdkunde
	<p>Der umgangssprachliche Begriff <i>Wärme</i> wird zunächst differenziert in <i>Temperatur</i> und <i>Wärmeempfindung</i>.</p> <p>Bei Phänomenen, die mit den Begriffen <i>Energie</i> und <i>Entropie</i> beschrieben werden können, wird weiterhin die alltagssprachliche Beschreibung <i>Wärme</i> verwendet. Auch die <i>Energie</i> wird als Alltagsbegriff verwendet.</p> <p>Die Lehrkraft vermeidet in <u>ihren</u> Formulierungen fachwissenschaftlich falsche Aussagen.</p> <p><i>Beispiele:</i></p> <p>Schüler: „Licht wird in der Solarzelle in Strom umgewandelt“ ok!</p> <p>Lehrer: „Das Licht bringt die <i>Energie</i> zur Solarzelle. Diese gibt sie über elektrische Leitungen an den Motor weiter.“</p> <p>Schüler: „Der Mensch isst, damit er Kraft hat.“ ok!</p> <p>Lehrer: „Die Nahrung bringt die <i>Energie</i> zum Menschen. Damit kann er sich z.B. fortbewegen, ... und seine Körpertemperatur konstant halten.“</p>

7/8	Physik
	<p>Der <i>Energie</i>-Begriff mit Maßeinheiten (1 J, 1 kWh) wird eingeführt. Energie-Formen bzw. Energie-Träger werden differenziert: <i>mechanische</i>, <i>elektrische</i> und evtl. <i>chemische Energie</i>.</p> <p>Thermische Energietransporte sind von den Standards nicht vorgesehen. Spielen sie im Unterricht eine Rolle, so empfehlen sich folgende Formulierungen:</p> <ul style="list-style-type: none">■ Energie-Formen-Konzept: <i>Thermische Energie</i> wird zugeführt ... (<i>Wärme</i> und <i>Wärme-Energie</i> können schwerer vom alltagssprachlichen Begriff <i>Wärme</i> getrennt werden.)■ Alternativ: Im Energie-Träger-Konzept: <i>Energie</i>, die an <i>Wärme</i> gekoppelt¹¹ wird ... (<i>Wärme</i> steht dabei propädeutisch als Synonym für Entropie.)

¹¹ Sowohl das "Trägerkonzept" als auch die Zuordnung der Begriffe "Wärme" und "Entropie" stehen im Gegensatz zu der klassisch üblichen Definition. Klassisch meint man mit "Wärme" durch thermischen Kontakt übertragene Energie.

7/8	Biologie/Geografie
	Die Themen "Fotosynthese" und "Passatkreislauf" können mit dem bereits eingeführten einfachen Begriffssystem behandelt werden.

8	Chemie
	<p>Alle chemischen Reaktionen sind mit Stoffumwandlungen sowie der Aufnahme oder der Abgabe von Energie verbunden.</p> <p>Auf Entropiebetrachtungen wird verzichtet.</p> <p>Reaktionen, die unter Energieaufnahme ablaufen, werden häufig als "endotherme", solche, die unter Energieabgabe ablaufen, als "exotherme" Reaktionen bezeichnet. Dabei ist die Energieform bzw. der Energieträger nicht festgelegt. Dass beide Reaktionsarten freiwillig (spontan) ablaufen können, wird an verschiedenen Beispielen gezeigt. Falls der umgesetzte Energiebetrag z. B. in Diagrammen symbolisiert werden soll, wird das Symbol ΔE vorgeschlagen.</p> <p>Von der Energieaufnahme bei endothermen Reaktionen zu unterscheiden ist die Energiezufuhr, die nur kurzfristig zum Starten der Reaktion benötigt wird. Diese wird oft "Aktivierungsenergie" genannt. Diese ist jedoch in der Reaktionskinetik anders definiert¹².</p>

9/10	Physik
	<p>Einführung des Entropie-Begriffs: Thermodynamische, statistische oder informationstheoretische Einführung möglich [Anhang 1]. Alle diese Sichtweisen des Entropiebegriffs sind wissenschaftlich gleichwertig.</p> <p>Eigenschaften der Entropie</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Entropie kann erzeugt, aber nicht vernichtet werden. ■ Ein System enthält Entropie, deren Betrag von der Stoffart, der Stoffmenge und dem Zustand des Systems, insbesondere seiner Temperatur, abhängig ist. Entropie-Werte von Stoffen können aus Tabellen entnommen werden. ■ Je höher die Temperatur eines Systems ist, desto mehr Entropie enthält es; bei $T = 0 \text{ K}$ ist die Entropie des Systems¹³ 0 J/K. ■ Energie- und Entropie-Transporte sind miteinander gekoppelt.

¹² Die Aktivierungsenergie der Kinetik ist nur für isotherme Prozesse definiert. Die notwendige Energie holen sich die reagierenden Moleküle von anderen Molekülen aus einem thermisch homogenen Medium. Das „Zünden“ einer Reaktion (z.B. beim Feuermachen) entspricht einer lokalen Erhitzung, bei der dort die Temperatur so weit erhöht wird, dass die Reaktionsgeschwindigkeit für diese Temperatur in einen praktisch relevanten Bereich erhöht wird. In der Regel betrachtet man hier exotherme Prozesse, sodass das Fortschreiten der Reaktion auch die Temperatur im gesamten Reaktionsgemisch so weit ansteigen lässt, das das System „durchreagiert“. In der Oberstufe sollte man auf jeden Fall zu dieser strengeren Betrachtung der „Aktivierungsenergie“ fortschreiten.

¹³ üblicherweise präzisiert man hier durch die Angabe des Systems "idealer kristalliner Festkörper"

	<p>Im Energieträger-Konzept sagt man:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ „Entropie transportiert Energie“ oder „Die Energie strömt zusammen mit der Entropie“ ■ „Die Entropie strömt von selbst, d.h. ohne äußere Energiezufuhr, von hoher zu tiefer Temperatur.“ ■ „Entropie kann mit Wärmepumpen von tiefer zu hoher Temperatur „gepumpt“ werden. Dazu wird Energie benötigt.“ ■ Irreversible Prozesse sind gleichbedeutend mit Entropie erzeugenden Prozessen. <p>Werden Zustände von Teilchen, Molekülen und Molekülansammlungen betrachtet, ist die Entropie eine Art Maß, wie sich die bei der Temperaturerhöhung aufgenommene Energie auf die verschiedenen Zustände des Systems verteilt (Anhang 4). Diese Sichtweise spielt jedoch an dieser Stelle des Unterrichts noch keine Rolle.</p> <p><i>Beispiele für die Anwendung von Entropie-Betrachtungen befinden sich in den Anhänge 2 und 3.</i></p>
--	--

9/10	Chemie, Biologie, Physik, NwT
	<p>Die Verwendung des Entropie-Begriffs ist im Fach Chemie nicht aus den Standards ableitbar. Es gibt aber die Chance, im Interesse einer stärkeren Verzahnung der Naturwissenschaften, an Beispielen die Bedeutung der Entropie darzustellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Lösungsvorgänge von Salzen ■ Joule-Thompson-Effekt – Abkühlung durch Verdunstung ■ Latentwärme-Speicher <p>Hier kann bei der Betrachtung von Antrieben und von energetischen Aspekten chemischer Reaktionen eine Verbindung zum Physikunterricht hergestellt werden, indem die Freie Reaktionsenthalpie mit Hilfe von Chemischen Potenzialen μ betrachtet wird, die analog zu anderen Potenzialen eingeführt werden können. Zahlenwerte für diese Größe findet man in den Tabellen der <i>Molaren Freien Standardbildungsenthalpien</i>.</p> <p>Bei Antrieben gelten je nach Unterrichtsfach unterschiedliche Vorzeichenregeln:</p> <p>Chemie: Betrachtung vom System aus. Eine freiwillig ablaufende chemische Reaktion wird durch eine negative freie Reaktionsenthalpie charakterisiert: $\Delta_r G < 0$ kJ</p> <p>Physik: Betrachtung von außerhalb. Der Antrieb derselben chemischen Reaktion wird mit demselben Zahlenwert aber positivem Vorzeichen beschrieben: $\Delta \mu > 0$.</p>

Kurstufe

Für einen anschlussfähigen Unterricht in der Sekundarstufe 1 ist es wichtig, die Inhalte und ziele des nachfolgenden Unterrichts zu kennen. Daher werden hier die wichtigsten Unterrichtsinhalte des Biologie- und Chemieunterrichts in der Kursstufe vorgestellt.

Kurstufe	Profil und Neigungsfach Biologie
	<p>Im Zentrum des Themenbereichs „Von der Zelle zum Organ“ steht die Zelle als ein hoch geordnetes, dynamisches und offenes System, zu dessen Aufbau und Erhalt Energie (genauer: freie Energie = chemische „Arbeit“) aufgewendet werden muss.</p> <p>In diesem Zusammenhang können Entropiebetrachtungen angestellt werden:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Zellen und damit alle Lebewesen sind offene, Entropie erzeugende Systeme, die nur funktionieren können, wenn sie die erzeugte Entropie in die Umgebung exportieren können. Dazu wird Energie benötigt.¹⁴2. Eine lebende Zelle befindet sich nicht im Zustand des chemischen Gleichgewichts. Stirbt sie ab, nähert sich der Zustand einem chemischen Gleichgewicht, was immer mit Entropiezunahme verknüpft ist.

Kurstufe	Profil und Neigungsfach Chemie
	<p>Im Zentrum des Unterrichts steht die Frage, welche Größe den Reaktionsablauf steuert.</p> <p>1. Vermutung: Reaktionsenthalpie</p> <p>Es ist nicht die Reaktionsenthalpie $\Delta_r H$, da es sowohl exotherme als auch endotherme Reaktionen gibt, die freiwillig ablaufen (Beispiele: exotherme Verbrennung von Erdgas; endotherme Reaktion einer Brausetablette in Wasser).</p> <p>2. Vermutung: Entropieänderung</p> <p>Auf der Suche nach der richtigen Größe, die den freiwilligen Ablauf chemischer Reaktionen beschreibt, wird die Entropie thematisiert. Sie wird in der Chemie vor allem statistisch betrachtet (Anhang 4):</p> <p>Mit Hilfe der Tabelle der molaren Standardentropien S^\ominus kann man die Entropieänderung berechnen, die durch die Bildung des neuen Stoffsystems bei einer chemischen Reaktion erfolgt. Sie wird Reaktionsentropie $\Delta_r S$ genannt und in der Chemie als "stöchiometrische Summe"¹⁵ berechnet, also kurz "Endsystem - Anfangssystem". Im Physikunterricht ist oftmals die Berechnung mit dem umgekehrten Vorzeichen üblich, also "Anfangs - minus Endsystem".</p> <p>$\Delta_r S$ hängt also mit dem Umbau der Teilchen zusammen, ihr Wert resultiert aus</p>

¹⁴ Die meiste Energie wird benötigt zum Aufbau der Biomoleküle, für Bewegungsvorgänge und den neuronalen Stoffwechsel.

¹⁵ Berechnung durch Bildung der "stöchiometrischen Summe": Die Potenzialwerte werden mit den Stoffmengen multipliziert, die Edukte außerdem mit -1, dann werden die Summanden aller Reaktanden addiert.

der Verteilung der bei konstanter Temperatur im System verbliebenen thermischen Energie auf die neuen Strukturen.

An vielen Beispielen lässt sich zeigen, dass auch diese Größe nicht den Ablauf von chemischen Reaktionen steuert: Bei der Knallgasreaktion nimmt die Entropie sicher ab, da aus Gasen eine Flüssigkeit entsteht, bei der Reaktion von Kalk mit Salzsäure entsteht ein Gas, was mit Entropiezunahme verbunden ist. Beide Reaktionen laufen bei Zimmertemperatur von alleine ab (z. T. nach Aktivierung).

3. Die freie Enthalpie

Beim Thema "Entropie" wird auch das Postulat eingeführt, dass bei allen spontanen Prozessen in einem abgeschlossenen System die "Unordnung" (Anhang 4) zunehmen muss. Damit ist klar, dass bei freiwillig ablaufenden Vorgängen Entropie erzeugt werden muss. Diese erzeugte Entropie S_{erz} entsteht im System.

Bei nicht abgeschlossenen Systemen, bei denen die Reaktion völlig reversibel verläuft, entsteht allerdings keine Entropie, sondern die Reaktion liefert in diesem Fall nutzbare Energie, z. B. zum Betreiben eines Elektromotors, deren Betrag der sogenannten freien Reaktionsenthalpie $\Delta_r G$ entspricht. Der Zahlenwert von $\Delta_r G$ ist damit auch experimentellen Messungen zugänglich.

Im total irreversiblen Fall wird keine nutzbare Energie geliefert, sondern ausschließlich Entropie erzeugt.¹⁶

Es gilt somit:

$$\Delta_r G = - T \cdot S_{\text{erz}}$$

Diese "freie Reaktionsenthalpie $\Delta_r G$ " ist die für den Reaktionsablauf entscheidende Größe. Wenn ein Vorgang in einem abgeschlossenen System freiwillig abläuft, wird nach dem 2. Hauptsatz Entropie erzeugt, und damit gilt $\Delta_r G < 0$ kJ.

Berechnung von $\Delta_r G$

In der Chemie wird die freie Reaktionsenthalpie meistens mit Hilfe der Gibbs-Helmholtz-Gleichung aus Tabellenwerten der molaren Standardbildungsenthalpien und der molaren Standardentropien berechnet.

Gedanken zur Herleitung dieser Gleichung siehe Anhang 5.

¹⁶ Der „Januskopf“ der freien Reaktionsenthalpie ist zu beachten:

Für $T, p = \text{const.}$ gilt mit E_{max} als maximal frei nutzbarer Energie

$$\left. \begin{array}{l} \Delta G = E_{\text{max}} \\ S_{\text{erz}} = 0 \end{array} \right\} \text{wenn Vorgang komplett reversibel}$$

und alle Übergänge dazwischen

$$\left. \begin{array}{l} \Delta G = -TS_{\text{erz}} \\ E = 0 \end{array} \right\} \text{wenn Vorgang komplett irreversibel}$$

Zu beachten ist, dass diese Aussage für den vollständigen Ablauf der Reaktion unter Standardbedingungen (bei Reaktionen in Lösung insbesondere auch bei den Standardkonzentrationen) gilt, nicht für den Fall, dass sich ein chemisches Gleichgewicht einstellt. Außerdem kann man nichts über den zeitlichen Verlauf des Reaktionsablaufs sagen, da viele Reaktionen, die nach thermodynamischen Kriterien eigentlich ablaufen müssten, kinetisch gehemmt sind, und erst einer Aktivierung bedürfen.

Dieselben Daten erhält man auch aus den Tabellenwerten des "Chemischen Potentials μ ", das der molaren freien Standardbildungsenthalpie entspricht (Vorzeichen beachten!).

4. Zusammenfassung

Die „**Energiebilanz**“ $\Delta_r G$ (freie Reaktionsenthalpie) bzw. $\Delta \mu$ (Differenz der Chemischen Potentiale) zwischen End- und Ausgangsstoffen ergibt

- ob die Reaktion abläuft (falls nämlich $\Delta_r G < 0$ kJ bzw. $\Delta \mu > 0$)
- und wie viel Entropie dabei maximal erzeugt werden kann:

$$S_{\text{erz}} = -\frac{\Delta G}{T} = \frac{\Delta \mu}{T}, \text{ bei } T = \text{konst.}$$

Die „**Entropiebilanz**“ ergibt, ob insgesamt ein „Entropieüberschuss“ (Reaktion exotherm) oder ein „Entropiemangel“ (endotherme Reaktion) vorliegt.

In physikalisch üblicher Notation:

Es müssen die Entropiewerte der Ausgangs- S_A und Endstoffe S_E mit S_{erz} bilanziert werden.

Ist $\Delta S = S_A - S_E + S_{\text{erz}} > 0$, so ergibt sich ein Entropieüberschuss, die Reaktion verläuft „exotherm“. Das ist immer der Fall, wenn die Entropie der Endstoffe kleiner ist als die Entropie der Ausgangsstoffe.

Ist die Entropie der Endstoffe größer als die der Ausgangsstoffe, dann entscheidet der Wert von S_{erz} , ob ein „Entropieüberschuss“ oder ein „Entropiemangel“ auftritt:

Ist S_{erz} so groß, dass damit nicht nur der Entropiebedarf der Endstoffe gedeckt werden kann, sondern noch ein „Entropieüberschuss“ besteht, dann ist die Reaktion „exotherm“, im anderen Fall entsteht ein „Entropiemangel“, es wird Entropie von der Umgebung aufgenommen, die Reaktion verläuft „endotherm“.

„Exotherm“ und „endotherm“ sind also Aussagen über die Entropiebilanz einer chemischen Reaktion.

(Plappert: Umsetzungsbeispiele zu den Bildungsstandards Physik, LEU Ph 38.2)

Beispiele:

Die Daten für S_{erz} wurden nach $S_{\text{erz}} = \frac{\Delta\mu}{T}$ aus den Tabellenwerten der Chemischen Potentiale μ für $T = 298 \text{ K}$ berechnet.

Calciumchlorid in Wasser:

$$S_A (\text{Ca}^{2+} \text{Cl}^{-}_2) = 105 \text{ Ct}, \quad S_E (\text{Ca}^{2+} + 2 \text{Cl}^{-}) = 61 \text{ Ct}, \quad S_{\text{erz}} = 227 \text{ Ct}$$

$$\Delta S = S_A - S_E + S_{\text{erz}} = 271 \text{ Ct} > 0: \text{ Entropieüberschuss, also „exotherm“}$$

Ammoniumchlorid in Wasser:

$$S_A (\text{NH}_4^+\text{Cl}^{-}) = 111 \text{ Ct}, \quad S_E (\text{NH}_4^+ + \text{Cl}^{-}) = 170 \text{ Ct}, \quad S_{\text{erz}} = 23 \text{ Ct}$$

$$\Delta S = S_A - S_E + S_{\text{erz}} = -36 \text{ Ct} < 0 \quad \text{Entropiemangel, also „endotherm“}$$

In chemischer Notation:

Exotherm bedeutet: $\Delta_r H < 0 \text{ kJ}$, endotherm bedeutet: $\Delta_r H > 0 \text{ kJ}$.

Nach Gibbs-Helmholtz gilt: $\Delta_r H = \Delta_r G + T \cdot \Delta_r S = -T \cdot (S_{\text{erz}} - \Delta_r S)$

Man erkennt:

Die Reaktion ist dann exotherm, wenn $S_{\text{erz}} - \Delta_r S > 0 \text{ kJ}$, also immer dann, wenn die Entropie der Reaktanden abnimmt, und falls sie zunimmt, genügend Entropie erzeugt wird, um die im System fehlende Entropie zu ersetzen. Ist aber die erzeugte Entropie zu gering, um $\Delta_r S$ "abzusättigen", wird also $S_{\text{erz}} - \Delta_r S < 0 \text{ kJ}$, so ist die Reaktionsenthalpie positiv, die Reaktion ist also endotherm, da die fehlende Entropie aus der Umgebung abgezogen werden muss.

2.3.2 Übersicht zur weiteren Vereinheitlichung der Sprechweisen

Herkömmlicher Begriff	Korrekte Übersetzung	Bemerkung
Wärmeleitfähigkeit	Thermische Energie-Leitfähigkeit	beibehalten
Spez. Wärmekapazität	Thermische Energie-Kapazität	beibehalten
Latentwärme-Speicher	Energie- und Entropie-Speicher Speicher chemischer Energie	nicht: Speicher von <i>thermischer</i> Energie
Reaktionswärme	Reaktionsenthalpie	Im Schullabor wird in der Regel mit offenen Systemen gearbeitet, wodurch bei energetischen Messungen die Volumenarbeit nicht erfasst wird. Um diesem Umstand gerecht zu werden, werden im Chemieunterricht üblicherweise nur Reaktionsenthalpien und keine Reaktionsenergien betrachtet.
Energie wird ausgetauscht	Energie zu- oder abführen	✂
Es wird Wärme frei.	Thermische Energie wird abgegeben	Von „frei“ werdender Wärme kann man auch sprechen, wenn sie im System gehalten wird und dann zu einer Temperaturerhöhung führt. Das „Frei Werden“ meint dann nicht in erster Linie aus dem System herausgehen, sondern aus der in chemischen Bindungen „gebundenen“ Form der Energie überzugehen in kinetische (=thermische) Energie, als die sie ja dann auch aus dem System herauskommen kann, wenn man sie lässt.
Die Reaktion ist exotherm.	Energie wird (an die Umgebung) abgegeben.	Ziel: mit möglichst wenigen Begriffen auskommen.
Unordnung	Entropie	Siehe Anhang 4
Gesamtentropie	Erzeugte Entropie (\triangleq Gesamtentropie)	Nach der Gleichung $S_{\text{erz}} = \Delta S_{\text{Umgebung}} + \Delta_r S$, die aus der Gibbs-Helmholtz-Gleichung durch Division mit $(-T)$ hervorgeht, ist die erzeugte Entropie in die beiden Bestandteile aufteilbar, die sich in der Umgebung (durch die Reaktionsenthalpie) und im System (durch den unterschiedlichen Entropiewert von Produkten und Edukten) befinden. Ihre Summe wird zu Recht als Gesamtentropie bezeichnet. Der Ausdruck "erzeugte Entropie" stellt mit Kenntnis des 2. Hauptsatzes besser die Beziehung zum Antrieb für den Reaktionsablauf her.
Maximale Nutzarbeit	Freie Reaktionsenthalpie (vgl. Fußnote 16)	"Arbeit" ist umgangssprachlich zu vielseitig besetzt. Maximal nutzbar zu machende Energie. Im "Träger-Konzept": die Energie, die auf einen beliebigen Energieträger umgeladen werden kann

2.4 Struktur der Materie (Modell-Ebene)

Teilchen

Der Begriff „Teilchen“ ist von der betrachteten Ebene abhängig (weitere Erläuterungen im Kapitel „Modelle zur Struktur der Materie“).

Atom

Jedes der ca. 100 Elemente ist durch eine Atomart charakterisiert (mit fest stehender Anzahl Protonen und Elektronen; Isotope oder (und) Atomsorten unterscheiden sich in der Anzahl der Neutronen und dadurch in der Atommasse)

z.B. H, O, Fe, Ne

Molekül

elektrisch ungeladenes Stoffteilchen aus mindestens 2 fest aneinander gebundenen Nichtmetall-Atomen. Diese Bindung zwischen 2 Atomen wird als Elektronenpaarbindung bezeichnet.

z.B. O₂, H₂O, C₂H₆O

Ion

Elektrisch geladenes Stoffteilchen, d.h. Teilchen mit unterschiedlicher Elektronen- und Protonenzahl. Ionenverbindungen (Salze) enthalten immer mindestens 2 Ionenarten (positiv geladenes Ion, negativ geladenes Ion). Die Bindung wird als Ionenbindung bezeichnet und wirkt in alle Raumrichtungen. Daher bilden sie meist regelmäßige, räumliche Strukturen (Ionengitter).

z.B. Na⁺, Cl⁻, NH₄⁺, NO₃⁻

Elementsymbol / Atomsymbol

Kurzschreibweise für ein Atom eines Elements

z.B. O bedeutet: 1 Sauerstoffatom.

chemische Formel

Kurzschreibweise für die Zusammensetzung eines Stoffteilchens.

z.B. O₂ bedeutet: das Stoffteilchen von Sauerstoff ist ein Molekül und besteht aus 2 Sauerstoffatomen. (Weitere Erläuterungen im Kapitel „Modelle zur Struktur der Materie“.)

Bindung (ggs Verbindung)

Es gibt drei Sorten chemischer Bindungen Ionenbindung (s.o.) Elektronenpaarbindung (s.o.) Metallbindung (nicht SI)

Nicht mehr verwendete Begriffe:

- Substanz, Material (Synonyme für den Begriff „Stoff“)
- Atombindung
- klein**st**es Teilchen

2.5 Stoffe

Stoffe werden umgangssprachlich auch als Material oder Substanz bezeichnet. Gegenstände / Körper bestehen aus Stoffen.

A Reinstoffe

Sie bestehen aus einer einzigen Sorte von Teilchen (Teilchensorte).

A1 Elemente

Reinstoffe, die durch eine chemische Reaktion nicht in verschiedene Reinstoffe zerlegt werden können (z.B. Sauerstoff).

A2 Verbindungen (ggs Bindung)

Reinstoffe, die chemisch in mindestens 2 verschiedene Elemente (Reinstoffe) zerlegt werden können (z.B. Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff).

B Stoffgemisch

Mischung mehrerer Reinstoffe.

Nährstoffe

Organische Stoffe, die für Lebewesen als Energieträger bzw. Bausubstanzen dienen (Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße (Proteine)).

Mineralstoffe (früher Nährsalze, Spurenelemente)

Anorganische Ionenverbindungen, meist Metall-Nichtmetall-Verbindungen. Diese Ionen erfüllen wichtige Funktionen im Stoffwechsel.

2.6 Reaktionen

Chemische Reaktion

Stoffumwandlung (Teilchenumwandlung)

Es gibt auch Lösungsvorgänge mit (verbundener) chemischer Reaktion.

In der Schule werden folgende Vorgänge üblicherweise nicht als chemische Reaktionen bezeichnet: Phasenübergänge, Lösungsvorgänge ohne Teilchenveränderung

Oxidation

Anfangsunterricht:

Oxidation \triangleq Reaktion mit Sauerstoff unter Bildung eines Oxids

Definition:

Oxidation \triangleq Reaktion mit Elektronenabgabe bestimmter Atome des betrachteten Stoffes.

Spezialfall: (organische Stoffe, Stoffwechselreaktionen)

Oxidation \triangleq Dehydrierung. Bei manchen Reaktionen (z.B. Oxidation von Alkohol zu Aldehyd, von NADH₂ zu NAD) wird dem Stoff der Wasserstoff entzogen, er wird dehydriert.

Reduktion

Anfangsunterricht

Reduktion \triangleq Reaktion mit Sauerstoffabgabe

Definition:

Reduktion \triangleq Reaktion mit Elektronenaufnahme bestimmter Atome des betrachteten Stoffes.

Spezialfall (organische Stoffe, Stoffwechselreaktionen):

Reduktion \triangleq Hydrierung. Bei manchen Reaktionen (z.B. Reduktion von Aldehyd zu Alkohol, von NAD zu NADH₂) reagiert der Stoff mit Wasserstoff, er wird hydriert.

Redoxreaktion

Gekoppelte Oxidation und Reduktion

Elektrolyse

Stoffumwandlung (Redoxreaktion) durch permanente Zufuhr elektrischer Energie durch eine **elektrische Energiequelle** (nicht Spannungsquelle!).

Leiter

In metallischen Leitern findet ein Transport von Elektronen statt. „Elektronenstrom“ vom Minuspol (\triangleleft Elektronen-Quelle) zum Pluspol (Elektronensenke). ABER: elektrischer Strom fließt vom Pluspol (\triangleleft elektrische Ladungsquelle) zum Minuspol (\triangleleft elektrische Ladungssenke)

Im Elektrolyt bewegen sich positiv und negativ geladene Ionen.

Elektrolyt

Flüssigkeit mit Ladungsträgern, entweder Schmelze oder (meist wässrige) Lösung

Elektrode

elektrisch leitendes Material (Feststoff) zur Elektronenübertragung

Elektrodevorgänge bei einer Elektrolyse

An der negativen Elektrode (Minus-Pol) findet eine Reduktion statt. Elektronen werden von der Elektrode an die positiven Ionen (Kationen) des Elektrolyten abgegeben, diese werden also reduziert.

An der positiven Elektrode (Plus-Pol) findet eine Oxidation statt. Elektronen werden von den negativen Ionen (Anionen) des Elektrolyten (oder der Elektrode selbst) abgegeben, diese Ionen werden also oxidiert.

Neuer Begriff

Elektronenstrom

Begriffsklärung

Anode und Kathode bezeichnen die Oxidations- bzw. Reduktionselektrode, und zwar nicht nur bei der Elektrolyse, sondern auch bei elektrochemischen Energiequellen. Sie sind keine Synonyme für Plus-Pol und Minus-Pol.

Anhang 1: Zum physikalischen Entropiebegriff

In dem Buch „Statistische Mechanik“; VCH Weinheim 1994 Seite 92, zeigen die Autoren Hartmann Römer und Thomas Filk:, dass es die folgenden drei Möglichkeiten gibt, den physikalischen Entropiebegriff zu bilden:

1. Die **thermodynamische Entropie S** , die sich als Zustandsgröße zum Energieaustausch durch Wärme in der Thermodynamik darstellt:

$$dQ = T \cdot dS$$

bzw. allgemeiner aus der Gibbsschen Fundamentalform folgt:

$$dE = T \cdot dS + \sum_i \xi_i \cdot dX_i.$$

2. Die **statistische Entropie S** im Sinne von Boltzmann, die im Wesentlichen gleich dem Logarithmus der Anzahl der Zustände bei festgehaltenen makroskopischen Parametern ist:

$$S = k \ln \Omega(E, X).$$

3. Die **informationstheoretische Entropie**, die S als ein Maß für die Unkenntnis des Mikrozustandes bei Kenntnis des Makrozustands, bzw. bei Kenntnis der Wahrscheinlichkeitsverteilung $\{w_i\}$, interpretiert:

$$S = -k \sum_i w_i \ln w_i.$$

Die Autoren zeigen außerdem, dass alle diese Entropiebegriffe gleichwertig sind. Hierzu schreibt Hartmann Römer in „Naturgegeben oder frei erfunden? Wie viel Freiheit gibt es in der Physik; Philosophisches Jahrbuch 1999, Verlag Alber Freiburg Dorn“: „Noch wichtiger ist das Auftreten unterschiedlicher physikalischer Theorien mit verschiedenen aber durchaus nicht völlig getrennten Anwendungsbereichen. Die **Thermodynamik** macht Aussagen über das Verhalten aller makroskopischen Systeme, die sich in den drei oder vier thermodynamischen Hauptsätzen zusammenfassen lassen. Der zweite Hauptsatz besagt, dass eine Grundgröße der Thermodynamik, Entropie genannt, im abgeschlossenen System niemals abnimmt. Der Anwendungsbereich der Thermodynamik ist gewaltig, und ihre Hauptsätze erreichen einen solchen Grad an Gewissheit, dass sie wohl niemals überholt und ungültig sein werden. Die Gesetze der Thermodynamik sind weitgehend unabhängig und völlig verschieden von denen der Mikrophysik elementarer Einheiten, die ebenfalls Aussagen über das Ganze der physikalischen Welt macht. Eine Zurückführung der Thermodynamik auf Mikrophysik ist aus verschiedenen Gründen nicht gelungen:

Erstens erweist sich das Programm, die thermodynamischen Hauptsätze durch Hinzuziehen von Begriffen und Methoden der Statistik auf die Mikrophysik zurückzuführen, zwar als viel versprechend aber auch als unerwartet schwierig. Es kann bis heute nicht als wirklich erfüllt angesehen werden.

Zweitens und wichtiger, sind die Grundbegriffe der Thermodynamik, wie Temperatur und Entropie, nicht aus der Mikrophysik ableitbar. Es entspricht ihnen einfach nichts, was aus einem mikroskopisch betrachteten System ersichtlich und entnehmbar wäre, sie sind grundsätzlich andersartige Begriffe, deren Anwendbarkeit erst mit einem hohen mikroskopischen Komplexitätsgrad der betrachteten Systeme beginnt.“

In Honerkamp, Römer: Klassische Theoretische Physik, S. 157, Springer-Verlag Berlin, wird ausgeführt, warum unabhängig vom statistischen Entropiebegriff der thermodynamische eingeführt werden sollte:

- die Hauptsätze der Thermodynamik lassen sich anschaulich aus Erfahrungstatsachen gewinnen,
- die Aussagen gelten allgemein, unabhängig von mikrophysikalischen Annahmen,
- er ist leicht anzuwenden (z.B. für Prozesschemiker mithilfe von Tabellenwerken),
- die Hauptsätze können nicht streng aus mikrophysikalischen Gleichungen hergeleitet werden....

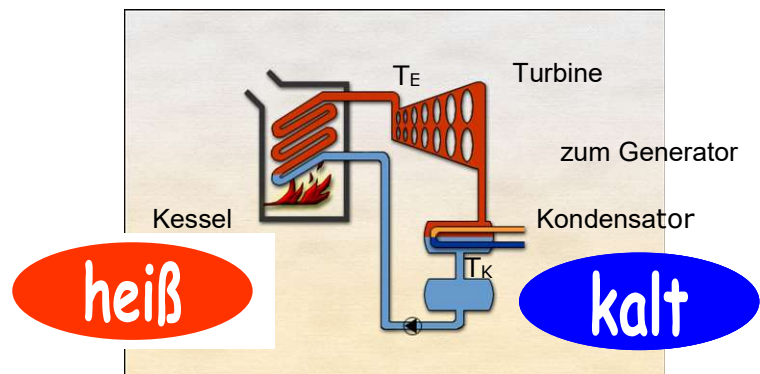
Anhang 2: Beispiele für die Anwendung von Entropie-Betrachtungen

Die Einführung der Entropie ist immer dann notwendig, wenn Energie und Entropie verschiedene Wege gehen: In Kraftwerken, Verbrennungsmotoren, Wärmepumpen etc.

Wozu braucht ein thermisches Kraftwerk einen Kühlturm?

Energiebetrachtung:

Im Kessel wird beim Verbrennen die Energie der Brennstoffe zum Erhitzen und Verdampfen des Wassers verwendet. Ein Teil dieser Energie (Kernkraftwerk 30 %, Kohlekraftwerk 40%) wird in der Turbine vom Dampf „abgeladen“, zum Generator geleitet und dort anschließend mit dem elektrischen Strom weitertransportiert. Ein Großteil der Energie verlässt mit dem Kühlwasser des Kondensators das Kraftwerk ungenutzt¹⁷.

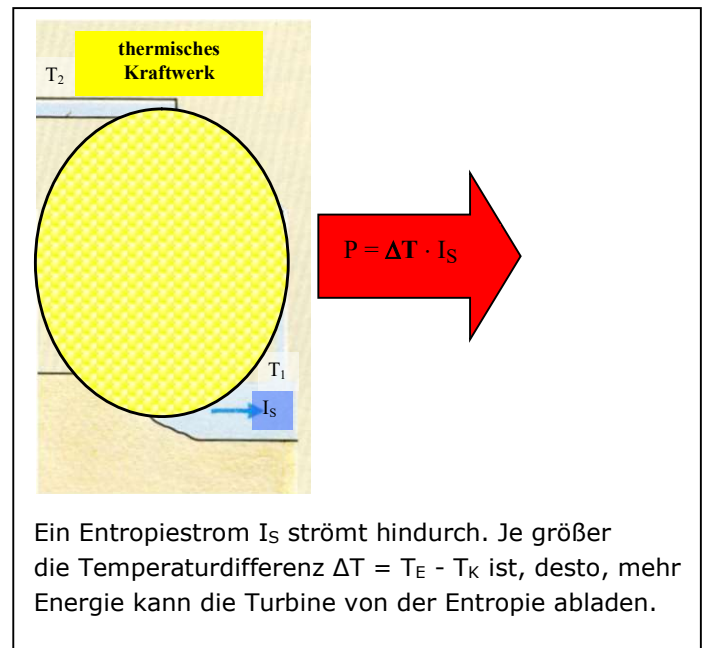
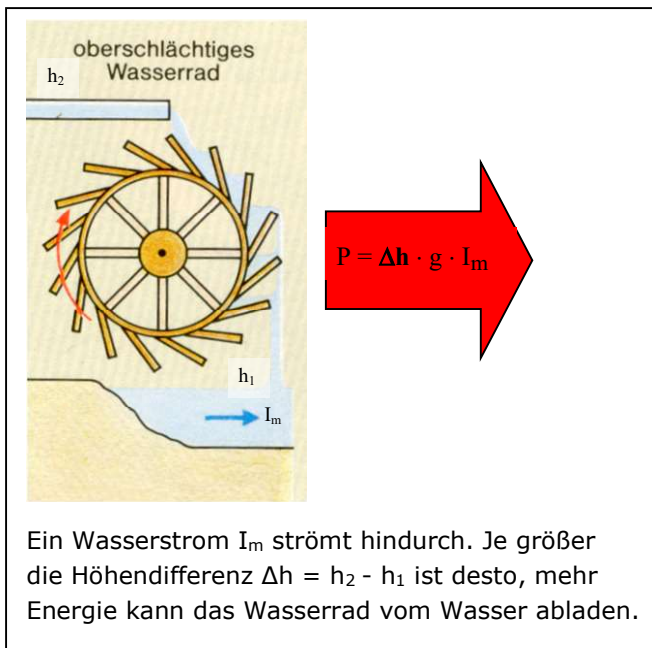


Carnot hat theoretisch gezeigt, dass das Verhältnis von nutzbarer zu eingesetzter Energie umso größer ist, je größer die Differenz der Temperatur des Dampfes T_E , der in die Turbine eintritt und der Temperatur des Dampfes T_K , mit der er im Kondensator kondensiert, ist. Alle praktischen Versuche, den Wirkungsgrad durch die Wahl von geeigneten Stoffen zu verbessern, die bei gleicher Temperaturdifferenz größere Druckdifferenzen erzeugen, waren zuvor gescheitert.

Entropiebetrachtung (nach Carnot):

Die Energie strömt mit der Entropie, zusammen durch die Turbine. Je größer die Temperaturdifferenz $\Delta T = T_E - T_K$ ist, desto mehr Energie lädt die Turbine von der Entropie ab, so wie ein Wasserrad von strömendem Wasser umso mehr Energie abladen kann, je größer die Höhendifferenz $\Delta h = h_2 - h_1$ zwischen Ein- und Ausgang ist.

¹⁷ Dass ein Teil der bei der Verbrennung umgesetzten Energie mit den erwärmten Abgasen das Kraftwerk verlässt (5 - 10 %), sei bei den nachfolgenden Betrachtungen vernachlässigt.



Die Entropie, die das Kraftwerk verlässt, wurde im Kraftwerk erzeugt; in erster Linie beim Verbrennen der Brennstoffe. Die Entropie kann dann nicht mehr vernichtet werden; wie eine Art „Wärmestoff“ verlässt sie das Kraftwerk durch den Kühlausgang.

Anhang 3: Wirkungsgrad

Warum ist der Wirkungsgrad einer Brennstoffzelle wesentlich höher als der eines Motors mit gleichem Brennstoff?

Für einen Verbrennungsmotor gelten dieselben Überlegungen wie für das Kraftwerk. Wie bei allen „thermischen Kraftwerken“ wird bei der Verbrennung Entropie erzeugt, von der dann nur so viel Energie abgeladen werden kann, wie die Temperaturdifferenz zwischen Verbrennungstemperatur T_E und der Kühlttemperaturentemperatur T_K erlaubt.

Bei Brennstoffzellen wird die Energie durch eine elektrochemische Reaktion im Idealfall ohne Entropieerzeugung umgeladen. Der Wirkungsgrad hängt hier nur von den technischen Möglichkeiten ab und kann somit erheblich höher sein.

Anhang 4: Entropie und "Unordnung"

Der oft mit Entropie in Zusammenhang gebrachte Begriff der "Unordnung" darf nicht zu oberflächlich verwendet werden, sondern muss gut reflektiert sein.

Die Entropie S misst die so genannte "Unordnung" der mikroskopischen Zustände des Systems, die vor allem eine Unordnung der Verteilung der thermischen Energie über die Stoffteilchen und ihre Freiheitsgrade darstellt. Dabei spielt die Energiequantisierung der Mikrozustände eine entscheidende Rolle. Die Feinheit der Energiequantisierung wird von der Struktur der Moleküle bestimmt. Deswegen kann sich bei gleicher thermischer Energie die Verteilung der Energie, also die Entropie zweier Systeme erheblich unterscheiden. Um von der rein räumlichen Vorstellung der "Unordnung" weg zu kommen, werden oft auch Bezeichnungen wie "Durcheinander" oder "Gewimmel" zur Veranschaulichung der Entropie verwendet.

So erscheint unmittelbar einleuchtend, dass eine Vermehrung der Teilchenzahl "das Durcheinander" erhöht (Exakter: Die Entropie wird erhöht, da es mehr Möglichkeiten gibt, die Energie im System zu verteilen.) Ebenso muss "das Gewimmel" bei höherer Temperatur größer sein. (Exakter: Die Entropie ist höher, da insgesamt mehr "Energieportionen" zur Verteilung zur Verfügung stehen.)

Führt man einem System einen bestimmten Betrag thermischer Energie E bei tieferer Temperatur zu, wird dabei die "relative Unordnung" stärker erhöht als bei höherer Temperatur, da bei tiefen Temperaturen relativ wenig "Energieportionen" vor der Energiezufuhr vorhanden sind. Auf diese Weise kann die thermodynamische Beziehung $\Delta S = E/T$ mikroskopisch interpretiert werden. Die Entropie hat die Einheit Joule/Kelvin, die aus didaktischen Gründen durch die Einheit "Carnot" (Ct) ersetzt werden kann; es gilt also: $1 \text{ Ct} = 1 \text{ J/K}$.

Es empfiehlt sich ein genaues Studium der Tabellenwerte der molaren Standardentropien. Man erkennt sofort, dass Stoffe, in denen die Teilchen sehr viele Anordnungsmöglichkeiten haben, also etwa Gase, deutlich höhere Entropiewerte haben. Somit kann man als Faustregel aufstellen, dass Entropie etwas mit "Unordnung" oder "Durcheinander" zu tun hat. Man sollte dann aber auch Beispiele aufzeigen, die sich nicht mehr ganz einfach mit dieser Faustregel erklären lassen, z. B. die unterschiedliche Entropie der Edelgase. Hier liegt der Grund der höheren Entropie der Gase mit höherer molarer Masse am größeren Impuls der Atome, also eigentlich an ihrer höheren Masse. Zur genaueren Begründung benötigt man u. a. die Heisenberg'sche Unschärferelation.

Anhang 5: Gibbs-Helmholtz-Gleichung

Mit der erzeugten Entropie steht die freie Reaktionsenthalpie in folgendem Zusammenhang (falls keine Nutzarbeit anfällt):

$$\Delta_r G = -T \cdot S_{\text{erz}}$$

Da immer gilt: $S_{\text{erz}} > 0 \text{ J/K}$, ist somit eine notwendige Bedingung für den spontanen Ablauf chemischer Reaktionen im geschlossenen System, dass die freie Reaktionsenthalpie negativ ist, dass also gilt:

$$\Delta_r G < 0 \text{ kJ.}$$

Für solche Reaktionen ist die Bezeichnung "exergonisch" üblich, Reaktionen mit $\Delta_r G > 0 \text{ kJ}$ heißen "endergonisch".

Nach einer chemischen Reaktion ändert sich auch die Entropie der Umgebung. Dabei geht nicht die ganze erzeugte Entropie in die Umgebung, da die Reaktionsenthalpie ebenfalls anfällt, mit positivem oder negativem Vorzeichen. Für die Entropieänderung in der Umgebung gilt somit:

$$\Delta S_{\text{Umg}} = S_{\text{erz}} - \Delta_r S$$

Sie korrespondiert mit der Reaktionsenthalpie nach

$$\Delta_r H = -T \cdot \Delta S_{\text{Umg}}$$

Damit erhält man

$$\Delta_r H = -T \cdot (S_{\text{erz}} - \Delta_r S) = \Delta_r G + T \cdot \Delta_r S$$

und nach Umstellung die Gibbs-Helmholtz-Gleichung in ihrer üblichen Form

$$\Delta_r G = \Delta_r H - T \cdot \Delta_r S$$

3 Modelle zur Beschreibung der Struktur von Materie

3.1 Vorbemerkung

Der Begriff des „Modells“ wird sehr unterschiedlich verwendet. In der quantitativen Naturwissenschaft ist in der Regel mit „Modell“ ein mathematisches Modell gemeint, das durch entsprechende Gleichungen beschrieben wird. Historisch war die „Newtonsche Punktmechanik“ hierfür ein erstes Beispiel. Zur Veranschaulichung der mathematischen Modelle werden „Veranschaulichungsmodelle“ verwendet, die Beziehungen des mathematischen Modells durch analoge Beziehungen zwischen Objekten unserer Alltagswelt veranschaulichen: Statt der „Punktteilchen“ der kinetischen Gastheorie werden „Modellkugeln“, statt der auf den Raumwinkel bezogenen Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Elektronen werden Orbitalmodelle aus Kunststoff betrachtet. Die neuen Medien ermöglichen zur Veranschaulichung der naturwissenschaftlichen Modelle vielfältige neue Visualisierungsmöglichkeiten. Der Prozess der Modellentwicklung selbst wird dabei wenn überhaupt nur am Rande erwähnt. Es besteht die Gefahr bei diesem unreflektierten Umgang mit Modellen, dass die Schülerinnen und Schüler sich Teilchen wie z.B. Moleküle, Atome, Elektronen,... als verkleinerte makroskopische Objekte vorstellen, dass sie das „Anschauungsmodell“ mit dem „naturwissenschaftlichen Modell“ gleichsetzen. Das beginnt bei der Simulation der Aggregatzustände mithilfe des „Kugelmodells“ und endet bei Atomvorstellungen mit umlaufenden Elektronen. Auch Computerdarstellungen von Molekülen oder ihr Zusammenbau mithilfe von „Molekül-Baukästen“ festigen die Vorstellung von greifbaren, womöglich noch farbigen Oberflächen der Mikroobjekte. Aus lernpsychologischen Gründen ist die Veranschaulichung mathematischer Modelle im naturwissenschaftlichen Unterricht unverzichtbar. Die Schülerinnen und Schüler müssen aber immer im Bewusstsein haben, in welcher Beziehung diese „makroskopischen Veranschaulichungsmodelle“ zur den naturwissenschaftlichen Modellen stehen. Ein eher sorgloser Umgang mit den verschiedenen Aspekten des Modellsbegriffs im naturwissenschaftlichen Unterricht führt dazu, dass sich die Anschauungsmodelle im Kopf der Schülerinnen und Schüler verselbstständigen und oft zu falschen Folgerungen, die die Lehrkraft nicht intendiert hat (siehe u.a. LS-Handreichung PH 39 - Schulphysik im Wandel), führen. Schülerinnen und Schülern fällt die Unterscheidung der Betrachtungsebenen Modell – Realität schwer: Stimmen aus Modellen gewonnene Ergebnisse mit Real-Messungen überein, wird das „Anschauungsmodell“ für das Abbild der Wirklichkeit gehalten.

Das Teilchenmodell¹⁸ ist einer besonderen Problematik unterworfen: Schülerinnen und Schüler sollen in Physik die Klasse 10 mit einer „zeitgemäßen Atomvorstellung“ verlassen, das wesentliche Ergebnisse der Quantenphysik berücksichtigt. Das Bild von Atomkernen, die von Elektronen umkreist werden (Planetenmodell), überhaupt die Vorstellung von Teilchen als Kugeln und ihrer Wechselwirkungen als Abbild verkleinerter mechanischer Systeme wird, wenn überhaupt, als historisch überholt dargestellt.

¹⁸ Das „Teilchenmodell“ ist kein wohl definierter Begriff und wird in unterschiedlichen Zusammenhängen verwendet. Es wird deshalb vorgeschlagen, darauf zu verzichten und entweder von Modellen zur Struktur der Materie zu sprechen oder die Modelle spezifischer zu benennen (siehe 3.2).

3.2 Modelle zum diskontinuierlichen Aufbau der Materie

Der diskontinuierliche Aufbau der Materie ist eines der Schlüsselkonzepte zum Verständnis der modernen wissenschaftlichen Sichtweise unserer Welt. Die Vorstellung vom Aufbau der Materie (Stoffteilchen-Konzept, Kontinuum-Diskontinuum-Konzept) spielt in allen naturwissenschaftlichen Fächern eine zentrale Rolle, allerdings auf verschiedenen Klassenstufen mit unterschiedlichen Zielsetzungen und Sichtweisen. Hier sind Modelle unverzichtbar.

Im Unterricht soll immer wieder die Bedeutung und die Grenzen der Gedankenmodelle, der mathematischen Modelle und der Veranschaulichungsmodelle deutlich gemacht werden. Modelle beschreiben oft nur Teilaspekte des betrachteten „Gegenstands“. Sie zeigen u.U. Eigenschaften, die bei den betrachteten Gegenständen nicht vorhanden sein müssen. So sind z.B. unsere in der makroskopischen Welt gebildeten Vorstellungen über Materie, Raum, Zeit, usw. nicht mit der quantenphysikalischen Betrachtungsweise in Einklang zu bringen.

Ein mögliches didaktisches Problem ergibt sich z.B. daraus, dass „Stoffteilchen“ (oder „klein(st)e Teilchen“) im Sinne des Stoffteilchen-Modells oft mit Atomen gleichgesetzt werden und auch in vielen Schulbüchern diese beiden Betrachtungsebenen nicht deutlich unterschieden werden.

Modelle	Betrachtete Objekte	Unterrichtseinsatz im Kerncurriculum
Propädeutisches Teilchenmodell	Teilchen	Np: kein Teilchenbegriff Bio ab Klasse 7 Geo ab Klasse 7
Stoffteilchen-Modell ¹⁹	Atome, Moleküle, Ionen	Bio ab Klasse 9 Ch ab Klasse 8 Geo ab Kursstufe
Atommodell a) Einfaches Modell ²⁰	Atom, das als Masseneinheit ohne innere Struktur betrachtet wird	Ch ab Klasse 8
b) Kern-Hülle-Modell	Atomkern und Atomhülle und deren Aufbau aus Protonen, Neutronen und Elektronen	Ch ab Klasse 8 Bio ab Klasse 9/10 Ph ab Klasse 9 NwT ab Klasse 8
Modell der Quantenobjekte*	alle hier erwähnten Mikroobjekte, zusätzlich Photonen Schwerpunkt: Merkmale und Verhalten	Ph in der Kursstufe
Standardmodell der Elementarteilchen*	Leptonen, Hadronen, Quarks, Antiteilchen	Ph in der Kursstufe

* Diese beiden Modelle werden in der Oberstufe thematisiert und werden in dieser Handreichung nicht näher erläutert.

¹⁹ Da der bisher übliche Begriff „Teilchenmodell“ nach den Ausführungen in 3.1 und 3.2.2 nicht eindeutig ist, wird der präzisere Begriff „Stoffteilchen-Modell“ verwendet.

²⁰ Der Begriff „Dalton'sches Atommodell“ wird hier bewusst vermieden. Schüler wissen heutzutage meist schon, dass Atome aus noch kleineren Teilchen aufgebaut sind, so dass die Unveränderlichkeit der Atome im Unterricht nicht in den Mittelpunkt gestellt werden sollte. Die in diesem Zusammenhang wichtige Eigenschaft der Atome ist ihre Masse.

3.2.1 Naturphänomene

Im Fach Naturphänomene kommt der Teilchenbegriff in den Bildungsstandards nicht vor und wird auch nicht benötigt. Die Phänomene und damit die „makroskopische“ Beschreibung der Natur stehen im Vordergrund. Trotzdem können Schüler Präkonzepte vom Aufbau der Materie im Unterricht einbringen (Teilchen – Partikel – Körnchen – Körperchen – Atome – Moleküle). In diesem Fall kann behutsam bestätigt werden, dass Stoffe (Materialien, Substanzen) aus kleinen Bausteinen bestehen, über deren Eigenschaften wir aber zunächst keine Aussagen treffen können. Die Begriffe Atom und Molekül sollten hier nicht eingeführt werden.

3.2.2 Physik

In der Physik hat der Begriff „*Teilchen*“ eine sehr allgemeine Bedeutung: „die kleinste Einheit eines Ganzen, dessen innere Struktur bei der jeweiligen Betrachtung nicht berücksichtigt werden muss.“ Von Interesse ist dabei oft die Beziehung der *Teilchen* zum Ganzen. *Teilchen* sind „idealisierte“ oft sogar „mathematische“ Objekte, wie etwa die „Punktteilchen“ in der Newtonschen Mechanik und in der kinetischen Gastheorie. Eine eventuelle Ausdehnung der *Teilchen* kann hier unberücksichtigt bleiben. Die *Teilchen* werden mathematisch als „punktförmig“ angesehen, die eine Masse haben und außerdem Energie, Impuls, Drehimpuls und elektrische Ladung tragen können. Je nach der gewählten Betrachtungsebene können die *Teilchen* sehr unterschiedlicher „Natur“ sein: So sind beispielsweise Galaxien *Teilchen* von Galaxienhaufen, Planeten *Teilchen* eines Sonnensystems, Menschen *Teilchen* der Bevölkerung, Zellen *Teilchen* des Menschen, Moleküle *Teilchen* eines Stoffes, Atome *Teilchen* eines Moleküls, Protonen *Teilchen* eines Atomkerns, Quarks *Teilchen* eines Protons,... Je nach der Betrachtungsebene können die jeweiligen Objekte die Rolle des *Ganzen* oder die Rolle des *Teilchens* spielen. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, „dass der „Feldbegriff“ in der neueren Physik in den Vordergrund getreten ist, während das „Punktteilchenkonzept“ teils in den Rang einer - unter gewissen Umständen zweckmäßigen - Näherung zurückgefallen ist²¹.“

Die Bildungsstandards der Klassenstufe 9/10 verlangen in der Kompetenz 11 Struktur der Materie (Block 9/10): „... Die Schülerinnen und Schüler können Teilchenmodelle an geeigneten Stellen anwenden und kennen eine zeitgemäße Atomvorstellung. Inhalte: Atomhülle, Atomkern.“

In einem „reflektierten Weg“ werden die Schülerinnen und Schüler exemplarisch an die quantenphysikalische Betrachtungsweise herangeführt; es wird eine tragfähige Atomphysikvorstellung erarbeitet. In dem Pflichtthema „Radioaktivität“ wird dieser Weg konsequent fortgesetzt. Auch wird der Schritt von der Makro- in die Quanten-Ebene bewusst reflektiert gegangen. Der Unterricht legt hier seinen Augenmerk auf die Darstellung der „Quantenobjekte“ (Elektronen, Heliumkerne) und der Gamma-Strahlung mit ihren „absurden Eigenschaften“. Auch hierbei wird der Unterschied zwischen den anschaulichen Eigenschaften von Makro-Teilchen und den „neuen Eigenschaften“ dieser Quanten-Objekte bewusst deutlich. Eine ausführliche Darstellung findet sich in der LS-Handreichung Schulphysik im Wandel (Ph 39).

²¹ H. Römer, M. Forger: Elementare Feldtheorie; VCH 1993, S. 10 in digitaler Form zu finden unter <http://www.freidok.uni-freiburg.de/freidok/index.php>

3.2.3 Chemie und Biologie

1. Stoffteilchen-Modell

In diesem Modell stellen wir uns unter einem Stoffteilchen den kleinsten Baustein eines Reinstoffes vor.

Der **Stoff-Begriff**:

- Ein **Stoff** ist das Material oder die Substanz, aus denen ein Gegenstand bzw. Körper besteht.
- Es werden **Reinstoffe** (Einzelstoffe) und **Stoffgemische** (Mischung mehrerer Reinstoffe) unterschieden.
- **Reinstoffe** bestehen aus einer einzigen Sorte von Stoffteilchen, **Stoffgemische** aus so vielen Sorten Stoffteilchen wie Einzelstoffe.

Stoffteilchen stehen im Sinne dieses Teilchenmodells

- meistens für Moleküle (bei ca. 10 Millionen bekannten vorwiegend organischen Stoffen),
- häufig für Ionen bzw. Ionenaggregate (bei ca. 100000 vorwiegend anorganischen Stoffen).
- selten für Atome (nur bei Metallen und Edelgasen, d.h. nur bei ca. 100 Stoffen),

Atome, Moleküle und Ionen können erst nach Einführung eines Atommodells genauer beschrieben werden.

Stoffteilchen im Sinne dieses Teilchenmodells haben die folgenden Eigenschaften:

Sie

- haben eine Eigenbewegung, die temperatur-, d.h. energieabhängig ist,
- ziehen sich gegenseitig an,
- haben eine messbare Masse (Massenspektrometrie, Sedimentationsgeschwindigkeit von Molekülen mit $m > 10.000$ u in der Ultrazentrifuge),
- sind in ihrer Anzahl berechenbar,
Die internationale Basiseinheit **Mol** ist eine auf die Teilchenzahl bezogene Einheit. Ein Mol ist die Stoffmenge, die aus ca. $6 \cdot 10^{23}$ Teilchen besteht. ($N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$). Die Teilchensorte muss angegeben werden.
- haben eine messbare Größe (Elektronenmikroskopie, Molekularsiebe, semipermeable Membranen, Ölfleckversuch),
- haben messbare Abstände und Winkel zwischen den Atomen/Massezentren (Infrarotspektroskopie, Röntgenstrukturanalyse an Kristallen),
- haben eine messbare 3-dimensionale Form (Elektronenmikroskopie, Röntgenstrukturanalyse an Kristallen großer Moleküle),
- zwischen den Teilchen ist keine Materie.

Dieses Teilchenmodell kann erklären:

- **Kristallform:** Sie ist durch eine festgelegte Anordnung der Stoffteilchen gegeben.
- **Aggregatzustände und Phasenübergänge:** Sie beruhen auf dem Wechselspiel zwischen der energieabhängigen Eigenbewegung und den Anziehungskräften zwischen den Stoffteilchen.
- **Lösevorgänge:** Beim Auflösen verteilen sich die Teilchen des zu lösenden Stoffes zwischen den Teilchen des Lösemittels.
- **Diffusion:** Die Ausbreitung eines Stoffes (v.a. Gases) im zur Verfügung stehenden Raum (auch ohne Konvektion) bis zur gleichmäßigen Verteilung lässt sich auf die ungerichtete Eigenbewegung der Stoffteilchen zurückführen.
- **Osiose:** Die Stoffteilchen des gelösten Stoffes können die semipermeable Membran nicht durchdringen. Die Folge ist die Netto-Diffusion des reinen Lösungsmittels durch die Membran.
- **Brownsche Bewegung:** Sie ist die sichtbare Bewegung mikroskopisch kleiner Objekte und lässt sich durch die Eigenbewegung der Stoffteilchen des flüssigen Lösemittels erklären.
- **Chemische Reaktionen:** Bei chemischen Reaktionen wandeln sich die Teilchen der Ausgangsstoffe in die Teilchen der Endstoffe um.

Grenzen des Modells:

Dieses Teilchenmodell kann nicht erklären:

- Die unterschiedlich starke Anziehung zwischen den Teilchen verschiedener Stoffe (d.h. die unterschiedlich hohen Schmelz- und Siedetemperaturen),
- die unterschiedliche Zusammensetzung der Teilchen verschiedener Stoffe aus den Atomen (d.h. Formeln von Stoffen),
- die unterschiedliche Reaktivität von Stoffen,
- die Bildung von Ionen (d.h. von geladenen Teilchen),
- alle Quantenphänomene, z. B. Interferenz, Nichtlokalität ...,
- ...

2. Atommodell

a) In dem einfachen Modell werden Atome als die Grundbausteine der Stoffteilchen angesehen. Ihr Feinbau bleibt hier außer Betracht.

- Atome kann man mit chemischen Mitteln nicht erschaffen oder zerstören.
- Es gibt genau so viele Atomarten wie es chemische Elemente gibt (zurzeit etwa 114).
- Die Atome eines Elements haben die gleiche Masse und die gleiche Größe. Atome unterschiedlicher Elemente unterscheiden sich in ihrer Masse und Größe.
- Atome werden durch Elementsymbole dargestellt. Das sind Großbuchstaben des lateinischen Alphabets oder Kombinationen aus zwei Buchstaben, z.B. O (Sauerstoff-Atom), H (Wasserstoff-Atom), oder Cu (Kupfer-Atom), Cl (Chlor-Atom)

- Stoffe, deren Teilchen nur aus Atomen einer einzigen Sorte aufgebaut sind, heißen Elemente. Beispiele: Helium: He, Sauerstoff: O₂, Schwefel: S₈
- Stoffe, deren Teilchen aus unterschiedlichen Atomsorten aufgebaut sind, heißen Verbindungen. Beispiele: Wasser: H₂O, Kochsalz: NaCl, Ethanol: C₂H₆O

Dieses einfache Atommodell kann zusätzlich zum Stoffteilchen-Modell erklären:

- Gesetz der **konstanten Massenverhältnisse** (Atomanzahlverhältnisse, Stoffmengenverhältnisse) der Elemente in Verbindungen.
- Die unterschiedliche Zusammensetzung der Teilchen verschiedener Stoffe aus den Atomen (d.h. **Formeln** von Stoffen)

b) Kern-Hülle-Modell

Das Atom hat einen komplizierten Feinbau, dessen Kenntnis es erlaubt, den Aufbau von Molekülen und Ionen zu verstehen.

- Ein Atom besteht aus einer Hülle und einem Kern.
- Die Hülle besteht aus Elektronen, der Kern aus Protonen und Neutronen.
- Die Elektronenhülle ist energetisch differenziert. Je höher die Energiestufe eines Elektrons, desto leichter kann es aus dem Atom entfernt werden.
- Ionen entstehen durch Aufnahme oder Abgabe von Elektronen.
- Moleküle entstehen in den meisten Fällen durch Bildung einer gemeinsamen Elektronenwolke.

Anmerkung: Spätestens an dieser Stelle ist es möglich und im Chemieunterricht auch nötig, eine Aussage über die räumliche Anordnung von Atomen und damit von bindenden Elektronenpaaren im Molekül zu machen.

- Erweiterter Elementbegriff: Ein Element besteht aus Atomen mit feststehender Anzahl von Protonen und Elektronen; Isotope oder Atomsorten unterscheiden sich in der Anzahl der Neutronen und dadurch in der Atommasse.
- Chemische Reaktionen beruhen auf Änderungen in der Elektronenhülle.
- Kernreaktionen (Spaltung, Fusion) beruhen auf Änderungen im Atomkern.

Moleküle

- Moleküle sind elektrisch ungeladene Stoffteilchen, die aus zwei oder mehr Atomen zusammengesetzt sind.

Moleküle werden durch verschiedene Darstellungen beschrieben:

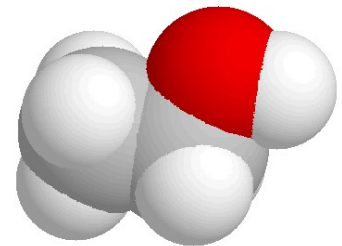
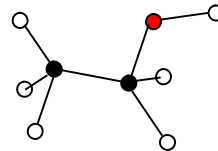
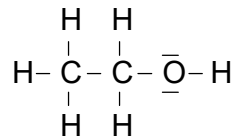
- Die *Molekülformel* oder *Summenformel* gibt die Zusammensetzung des Moleküls aus den Atomen an, z.B. H_2 , H_2O , C_2H_6O (Ethanol). Die Buchstaben geben die Atomsorten an, die Indizes geben die Anzahl der davor stehenden Elementatome an.
- Die *Halbstrukturformel* und die *Strukturformel* beinhalten Informationen über die Anordnung der Atome und die Bindungen zwischen ihnen, d.h. den räumlichen Bau der Moleküle.
- Das *Kugel-Stab-Modell* gibt die räumliche Lage der Atomkerne zueinander an.
- Das *Kalottenmodell* gibt die Raumerfüllung des Moleküls an, die durch die Elektronenhüllen der Atome bedingt wird.

Für das Ethanol-Molekül sind die verschiedenen Darstellungen angegeben:

Molekülformel: C_2H_6O oder C_2H_5OH

Halbstrukturformel: *Strukturformel:* *Kugel-Stab-Modell:* *Kalotten-Modell:*

CH_3-CH_2-OH



Ionen

- Ionen sind elektrisch geladene Atome oder Moleküle.
- Sie bilden ein Ionengitter, in dem die Gesamtzahl der positiven und der negativen elektrischen Ladungen gleich ist und in der Summe Null ergibt.
- Die Formel einer Ionen-Verbindung ist eine Verhältnisformel. Sie gibt das kleinste ganzzahlige Anzahlverhältnis der beteiligten Ionen an, z.B. $NaCl$, $NaHCO_3$.
- Die Ladungen werden oft zu den einzelnen Ionenarten dazugeschrieben, z.B. Na^+Cl^- , $Na^+(HCO_3)^-$.

