

Lernaufgaben für einen kompetenzorientierten Chemieunterricht in der gymnasialen Oberstufe

Das chemische Gleichgewicht unter der Lupe

ANDREAS BINDL, ANDREAS BÖHM, GREGOR VON BORSTEL, MANFRED EUSTERHOLZ, DAVID WENINGER

Kompetenzorientierung im Chemieunterricht ist kein Selbstläufer. Es bedarf einer sorgfältigen Planung und Übersicht, damit die entscheidenden Kompetenzen im Unterricht entwickelt werden können. Anhand von praxiserprobten Materialien soll beispielhaft gezeigt werden, wie ein solches Vorhaben gelingen kann.

Es werden Lernaufgaben zum chemischen Gleichgewicht, einem Unterrichtsinhalt der Einführungsphase, vorgestellt. Diese sollen dazu dienen, Schlüsselstellen als gelingende Lernsituationen zu gestalten und somit erfolgreichen Unterricht zu ermöglichen. Sie können dabei sowohl als Hilfestellung als auch als Ideengeber für Kolleginnen und Kollegen im Unterrichtsalltag dienen. Didaktisch-methodische Erläuterungen ergänzen die Lernaufgaben genauso wie Klausuraufgaben, Übungen, Diagnosetools und Feedback-Instrumente.

1 Projektbeschreibung und Zielsetzung

Motivation für das Projekt

Vor geraumer Zeit ist der Paradigmenwechsel hin zu einer Kompetenzorientierung in Form von Kernlehrplänen vollzogen worden. Die Schulen haben sich in intensiver Fachschaftsarbeit mit der Formulierung schulinterner Lehrpläne befasst.

In der Praxis hat sich allerdings gezeigt, dass aufseiten der Lehrenden gerade bei jungen Kolleginnen und Kollegen und Berufsanfängerinnen und -anfängern ein großer Bedarf an neuen kompetenzorientierten Materialien und Unterrichtsverfahren existiert, die eine umfassende Entwicklung von Kompetenzen bei den Lernenden anleiten und unterstützen. Das Anliegen der Projektgruppe ist es, beispielhafte Module für die Einführungs- und die Qualifikationsphase zu entwickeln, die ein Gerüst für eine langfristige Planung eines kompetenzorientierten Unterrichts darstellen und damit auch eine Arbeitsentlastung für Kolleginnen und Kollegen sein können.

Zielsetzung und methodische Überlegungen

Im Fokus der Vorüberlegungen stehen neben der Einbindung der im Kernlehrplan ausgewiesenen konkretisierten Kompetenzerwartungen auch eine Verschränkung der Kompetenzbereiche und besonders die stärkere Berücksichtigung der übergeordneten Kompetenzen der Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung.

Beispielhaft formuliert wird dies im Referenzrahmen Schulqualität NRW (MSW, 2015). Dadurch soll ein definiertes Anspruchsniveau erreicht werden, das Grundlage für fundierte Urteile in alltäglichen Entscheidungsprozessen ist.

Zum Erreichen dieser damit verbundenen naturwissenschaftlichen Grundbildung, die auch oft als scientific literacy umschrieben wird (Gräber, Nentwig, Koballa & Evans, 2002), dienen auf schulischer Ebene das Einüben von problemlösendem Denken, die allgemeine Förderung kognitiver Prozesse und das Vermitteln von konzeptionellem Wissen. Natürlich müssen auch fachmethodische Fertigkeiten erreicht werden. Dies wird unterstützt durch einen Unterricht mit experimentellem Schwerpunkt, z. B. durch gefahrenarme und kreative Schülerversuche (Obendrauf, 1996).

Die Entwicklung der Kompetenzen soll dabei von einer stetigen Progression gekennzeichnet sein. Grundkonzepte, wie z. B. das chemische Gleichgewicht, werden spiralcurricular über die gesamte Oberstufe verteilt immer wieder aufgegriffen und in verschiedensten Themengebieten angewendet. Dadurch erfolgt ein sukzessiver Aufbau von miteinander vernetztem Fachwissen und eine Vorbereitung auf die Anforderungen des Abiturs.

Beschreibung von Grundprinzipien und Vorgehensweise

Die erstellten Materialien zielen stets auf die oben beschriebene Kompetenzorientierung ab und ermöglichen den Lernenden den Zugang zu den Lerninhalten auf verschiedenen Abstraktionsebenen mit fachlicher Heterogenität. Die Steuerung des Lernprozesses erfolgt über operationalisierte Aufgaben mit angepassten Lernstufen und Hilfestellungen.

Ein wichtiges Grundelement zum erfolgreichen Einsatz der vorgestellten Materialien sind die fachdidaktischen Erläuterungen bzw. didaktisch-methodischen Hinweise. Sie werden von den Projektgruppenmitgliedern „die Idee dahinter“ genannt und weisen die angestrebten Kompetenzen aus. Sie enthalten den möglichen Ablauf der Lerneinheit, geben Anregungen zur personalen Steuerung sowie zur Verknüpfung der praxiserprobten Materialien und beinhalten damit Hintergrundinformationen für eine erfolgreiche Umsetzung und für das Erreichen der beabsichtigten Lernziele.

„Die Idee dahinter“ kann außerdem mögliche Anknüpfungspunkte für weitere Unterrichtsinhalte, Vernetzungen oder Literaturhinweise für tiefere Recherchen liefern.

Die Module sind Lerneinheiten, die nicht zwangsläufig an den zeitlichen Rahmen einer Unterrichtsstunde gebunden sind und zeigen oft zusätzliche Wege, auch mit Vertiefungen des Unterrichtsstoffes, auf. Ein Teil der Materialien repräsentiert den roten Faden des Gedankengangs und fußt auf den konkretisierten Kompetenzerwartungen des Kernlehrplans, ein Teil ist aber fakultativ zu sehen. Allein aus Zeitgründen wird man in der Praxis eine eigene Auswahl treffen müssen.

Fokussierung und Einordnung in Hintergründe

Die Autoren beobachten gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen die immer größer werdenden Schwierigkeiten der heutigen Schülerinnen- und Schülergeneration, verschiedene, sich ergänzende fachwissenschaftliche Materialien sinnhaft miteinander zu verknüpfen, Fachzusammenhänge darin zu erkennen und Sachverhalte und Kausalzusammenhänge zu strukturieren und nachvollziehbar und fachsprachlich angemessen zu erläutern.

Hier besteht Handlungsbedarf, weil der Erwerb der beschriebenen Fähigkeiten für eine tiefere Auseinandersetzung mit chemischen Fachinhalten in einer zunehmend komplexeren Welt von entscheidender Bedeutung ist.

Dies ist eine zentrale Aufgabe des Chemieunterrichts, formuliert im Kernlehrplan für die Sekundarstufe II (MSW, 2014, S. 12):

Bei chemischen Untersuchungen spielen sowohl die Beschreibung von Phänomenen in einer exakten Fachsprache, das zielgerichtete Überprüfen von Hypothesen durch Experimente, das kriterien- und theoriegeleitete Argumentieren sowie das ordnende Strukturieren fachwissenschaftlicher Erkenntnisse eine herausgehobene Rolle. Kennzeichnend sind dabei die wechselnde Betrachtung [...] auf der Stoff- und der Teilchenebene und die Verknüpfung dieser beiden Ebenen zur Erklärung von Phänomenen, Sachverhalten, Konzepten und Gesetzmäßigkeiten der Chemie.

Ob die Schülerinnen und Schüler das Erfassen, Beschreiben, Quantifizieren und Erklären chemischer Phänomene intensivieren und dabei ihre Modellvorstellungen sowie Modellbildungsprozesse präzisieren und erweitern, manifestiert sich in der Oberstufe auf dem Weg zum Abitur vor allem in einem zunehmend sicheren materialbasierten Erläutern, bei dem experimentelle Befunde, z. B. mit Textdarstellungen, Tabellen, Diagrammen, Schemadarstellungen oder Darstellungen auf Teilchenebene, wechselseitig in Zusammenhang gebracht werden.

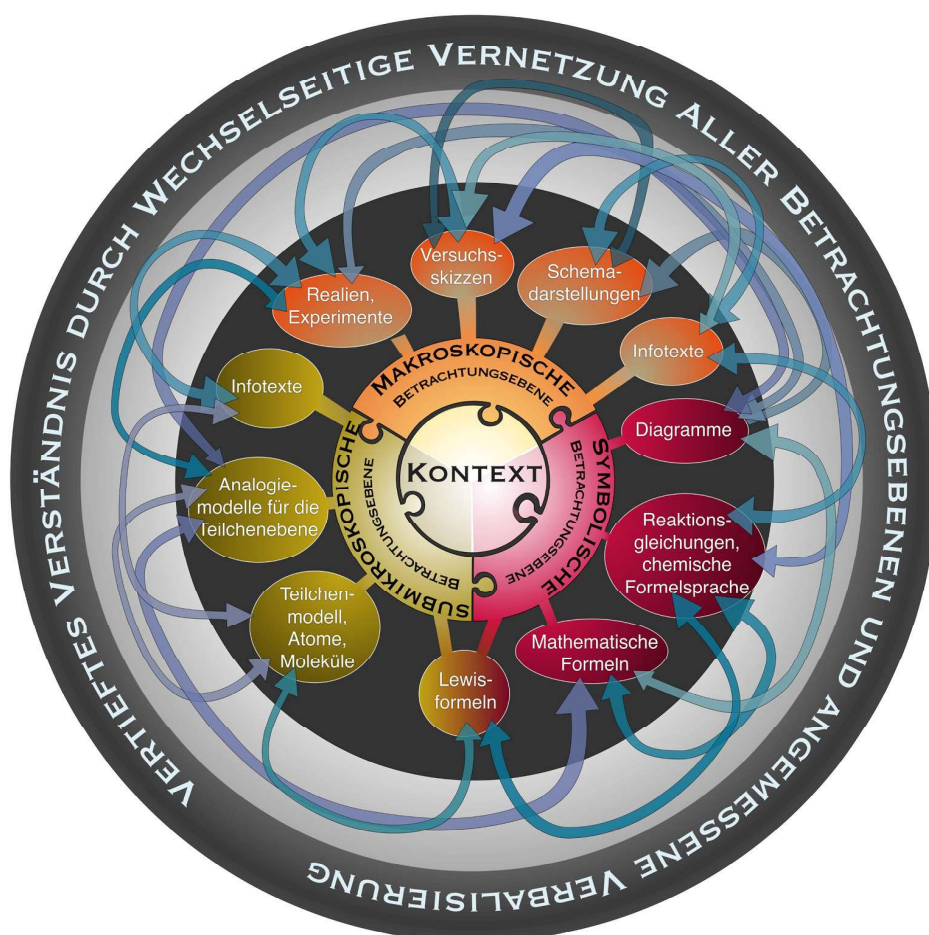


Abbildung 1: Betrachtungs- und verschieden abstrakte Darstellungsebenen im Chemieunterricht¹

¹ Eigene Darstellung in Anlehnung an die Vereinigung von Betrachtungsebenen nach Johnstone und möglichen Darstellungsformen wie unter <http://www.sprachsensiblerfachunterricht.de/prinzipien> [21.07.2020].

In der unterrichtlichen Heranführung an Fachinhalte bedarf es aller Betrachtungsebenen sowohl im Kontinuum als auch im Diskontinuum. Dabei ist im Chemieunterricht der ständige Wechsel zwischen den verschiedenen Betrachtungs- und damit auch Abstraktionsebenen eine besondere Herausforderung (siehe Abbildung 1). Jede Abstraktionsebene arbeitet mit einer eigenen „Sprache“, die es zu erkennen und zu verstehen gilt, damit die verschiedenen Betrachtungsebenen miteinander verknüpft und Fachzusammenhänge korrekt verbalisiert werden können.

Nicht nur Berufsanfängerinnen und -anfänger, sondern auch erfahrene Kolleginnen und Kollegen finden im Folgenden Anregungen für eine Verknüpfung und Vernetzung der Anschauungs- und Sprachebenen, sodass ihre Lernenden nicht zu früh z. B. mit der reinen mathematischen Abstraktion überfordert werden.

2 Exemplarische Dokumentation von Materialien: Begründung der Auswahl der Materialentwicklung

Ziel dieses Projekts soll es u. a. sein, exemplarisch aufzuzeigen, wie man einen kontinuierlich kompetenzorientierten Chemieunterricht in der Sekundarstufe II planen und durchführen kann, der die Schülerinnen und Schüler zum einen zur eigenständigen Erläuterung und Bewertung chemischer Zusammenhänge befähigt und zum anderen eine wechselseitige Verknüpfung von Kontexten, realer Anschauung, Experimenten im Kontinuum und deren modellhafter Erläuterung auf submikroskopischer Teilchenebene bis hin zur mathematischen Abstraktion trainiert.

Als Beispiel wurde ein Thema gewählt, das als eine zentrale Schlüsselstelle des Chemie-Oberstufenunterrichts angesehen werden kann: die Beeinflussung der Lage von chemischen Gleichgewichten durch Druck-, Temperatur- oder Konzentrationsänderungen, regelhaft formuliert im Prinzip von Le Chatelier. Da dieses immer wieder in Argumentationszusammenhängen auftaucht, z. B. in der aktuellen Klimadiskussion oder bei der Erklärung der Verschiebung von Säure-Base- und Redox-Gleichgewichten, können die erworbenen Kompetenzen bei der Thematisierung anderer Kontexte erfolgreich genutzt und gefestigt werden.

Darstellung und Dokumentation prototypischer Materialien

Die materiale Umsetzung für die ausgewählte Unterrichtssequenz zum Prinzip von Le Chatelier, ausgehend vom Inhaltsfeld 1 „Kohlenstoffverbindungen und Gleichgewichtsreaktionen“ umfasst Modelle, Experimente, Lernaufgaben und Diagnosetools wie Concept-Cartoons, Ampelabfrage, Quiz und Übungen. Darüber hinaus gibt es Beispielklausuren inklusive Musterlösungen und Instrumente für die Implementation einer Feedbackkultur.

Der Kompetenzbereich der Kommunikation findet seine Ausschärfung vor allem in der Bildung von Argumentationsketten zum Aufstellen von Hypothesen und zur Darstellung von Kausalitäten und nicht zuletzt in der gesprächsorientierten Unterrichtsmethode einer Talkshow.

Eine eigens erstellte Analogie, „die Bälleschlacht“, dient bei der Auswertung von Experimenten im Bereich der Erkenntnisgewinnung als eine weitere Darstellungsebene für eine schrittweise abstraktere Verknüpfung der makroskopischen und symbolischen Betrachtungsebene.

Der Bereich der Bewertung erfährt eine besondere Berücksichtigung in den Lernaufgaben, z. B. bei der Beurteilung der Auswirkungen von Eingriffen in den Kohlenstoffkreislauf.

Kompetenzen aus allen Kompetenzbereichen werden zunächst im Kontext der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser angelegt. Darüber hinaus können sie in zahlreichen anderen Inhalten und Kontexten angewandt und weiterentwickelt werden.

Die folgende Abbildung stellt eine Übersicht zur möglichen Reihenplanung dar:

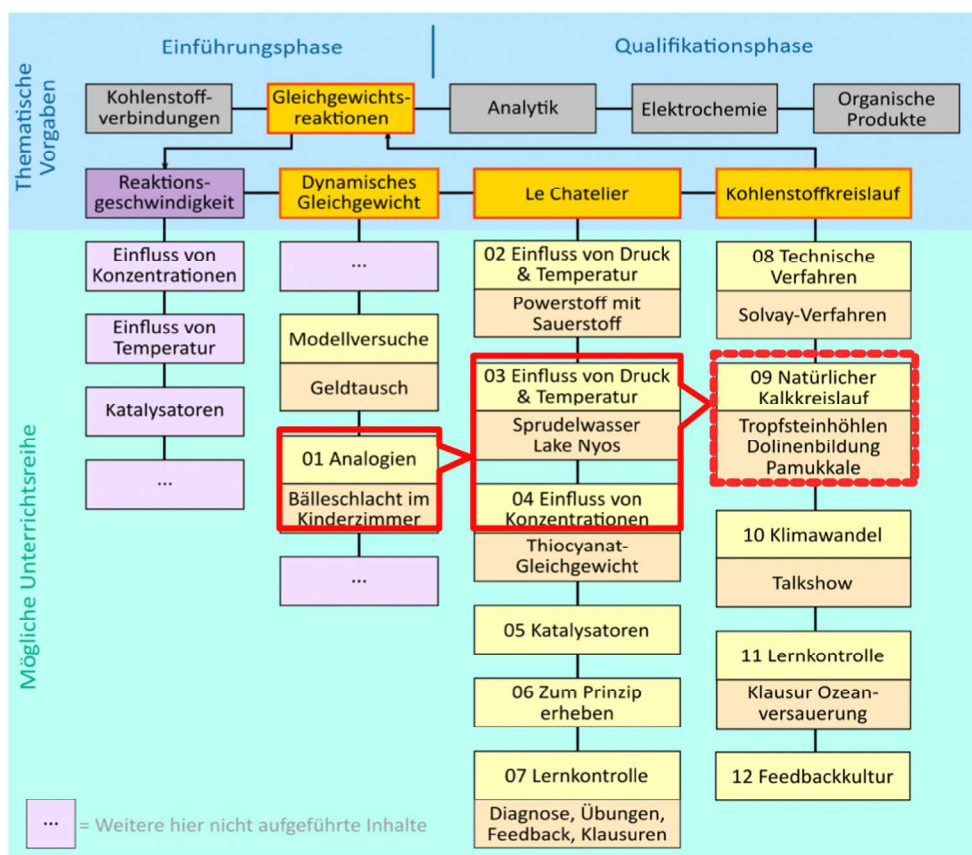


Abbildung 2: Übersicht über Sequenzen und Materialien für die EF²

Erläuterungen zum Verständnis und zum Einsatz des Materials

Im Folgenden sollen prototypisch einige Materialien zur Einführung und Vernetzung des Prinzips von Le Chatelier in der Einführungsphase vorgestellt werden.

Das Wissen um die Möglichkeit der Veränderung eines Gleichgewichtszustands schließt unmittelbar an die Erarbeitung der Reaktionsgeschwindigkeit und des chemischen Gleichgewichts an und findet seine erneute Anwendung im Verständnis des Kohlenstoffkreislaufs und des Klimawandels.

Als Lernvoraussetzung wurden im Vorfeld, mit Bezug auf den Kernlehrplan, die Einflüsse von Temperatur, Eduktkonzentration oder Zerteilungsgrad auf die Reaktionsgeschwindigkeit unter Verwendung einfacher Modelle erklärt.

Aufbauend darauf wurde ein neues Verständnis reversibler chemischer Reaktionen als Hin- und Rückreaktion geschaffen und erweiternd das chemische

Gleichgewicht als dynamischer Zustand erfasst, in dem Hin- und Rückreaktion gleich schnell ablaufen. Ein in der Fachdidaktik häufig benannter Stolperstein ist in diesem Zusammenhang die Vorstellung eines Stillstandes im Gleichgewicht (Heeg, Steinich & Hundertmark, 2018). Um diese Fehlvorstellung von einem statischen Gleichgewicht nicht entstehen zu lassen, hat sich die Thematisierung der berühmten Holzapfelschlacht als Analogie bewährt (Dickerson & Geis, 1983). Im Folgenden wird sie in Form einer „Bälleschlacht im Kinderzimmer“ (siehe Abbildung 3) aufgegriffen und zu einem tragfähigen Modell für die gesamte Sequenz weiterentwickelt, sodass auch äußere Einflüsse auf die Reaktionsgeschwindigkeiten und die Gleichgewichtslage damit veranschaulicht werden können.

Bälleschlacht im Kinderzimmer

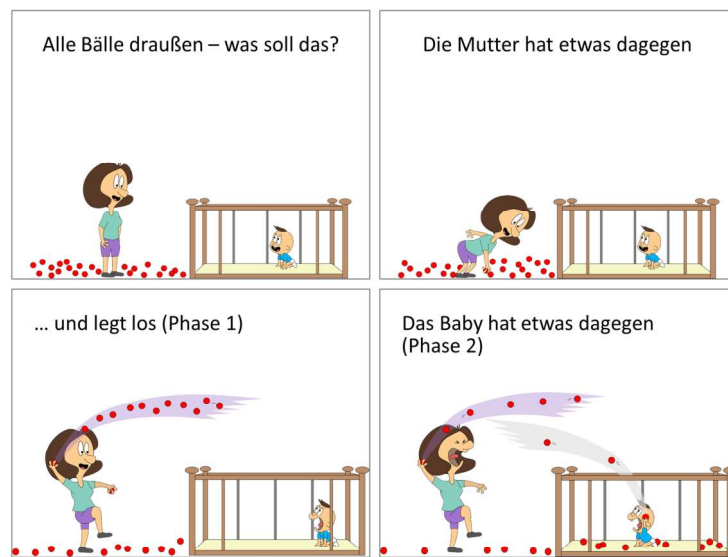


Abbildung 3: Mama vs. Baby – Ausgangslage der Bälleschlacht im Kinderzimmer

Die Quantifizierung mündet schließlich in der mathematischen Abstraktion des Massenwirkungsgesetzes (siehe Abbildung 4).

Quantifizierung der Bälleschlacht im Kinderzimmer

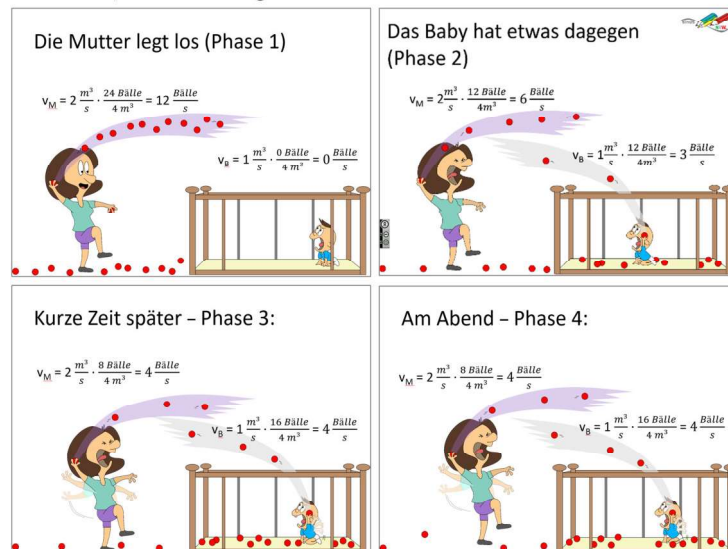


Abbildung 4: Modellierte Quantifizierung eines dynamischen Gleichgewichts als Basis des Massenwirkungsgesetzes

Zur anschließenden Einführung des Prinzips von Le Chatelier haben sich gefahrenarme Experimente mit Sauerstoff (von Borstel & Böhm, 2006a) und vor allem Kohlenstoffdioxid (von Borstel & Böhm, 2006b) besonders bewährt, mit denen seit langer Zeit Versuche z. B. mit toxischen Stickoxiden ersetzt werden. Die dafür verwendete Spritzentechnik (von Borstel, Eusterholz & Böhm, 2017) ermöglicht in den Händen der Schülerinnen und Schüler mit einigen Vorgaben gut zu beobachtende, reproduzierbare Ergebnisse.

Neu ist die Einbettung der bewährten Experimente in kontextuale Lernaufgaben unter Berücksichtigung der o. g. Betrachtungs- und verschiedenen abstrakten Darstellungsebenen und die Erweiterung u. a. um die Modellierungsebene der Bälleschlacht.

Der Einsatz dieser Lernaufgaben ermöglicht die Schaffung einer umfangreichen Lernumgebung, die im Sinne von Leisen der Kompetenzentwicklung dient und den Lernprozess durch eine Folge von gestuften Aufgabenstellungen mit entsprechenden Lernmaterialien steuert (Leisen, 2010). Die Befürchtung, dass das auf den ersten Blick sehr umfangreiche Material einer Lernaufgabe die Schülerinnen und Schüler überfordert, hat sich beim mehrmaligen Einsatz im Unterricht nicht bestätigt. Vielmehr dient die gesamte Lernaufgabe sukzessive dem Durchschreiten aller Abstraktions- und Betrachtungsebenen und führt letztlich zu der von den Projektmitgliedern intendierten Erstellung von nachvollziehbar strukturierten Argumentationsketten.

Die Einführung des Prinzips von Le Chatelier in der Einführungsphase ist u. a. mit folgenden konkretisierten Kompetenzerwartungen verknüpft, dargelegt im Kernlehrplan für die Sekundarstufe II, Chemie (MSW, 2014, S. 24f.):

Die Schülerinnen und Schüler

- erläutern an ausgewählten Reaktionen die Beeinflussung der Gleichgewichtslage durch eine Konzentrationsänderung (bzw. Stoffmengenänderung), Temperaturänderung [...] und Druckänderung (bzw. Volumenänderung) (UF3), [...]
- beschreiben und erläutern das chemische Gleichgewicht mithilfe von Modellen (E6), [...]
- dokumentieren Experimente in angemessener Fachsprache (u. a. [...] zur Einstellung eines chemischen Gleichgewichts, zu Stoffen und Reaktionen eines natürlichen Kreislaufes) (K1) [...].

Die mehrere Schulstunden umfassende Sequenz kann in ihrer Gesamtheit dem Basismodell „Konzeptbilden“ nach Oser zugeordnet werden (Krabbe, Zander & Fischer, 2015). Der zu durchlaufende Lernprozess lässt sich in verschiedene Handlungsschritte gliedern:

1. Die Untersuchung des Parameters Temperatur beinhaltet das Durcharbeiten eines prototypischen Gedankengangs.
2. Die anschließenden Untersuchungen zum Einfluss des Drucks stellen einen aktiven Umgang mit dem Konzept der Verschiebung von Gleichgewichten dar.
3. Alle folgenden Materialien ermöglichen eine Anwendung dieses Konzepts in anderen Kontexten und trainieren das Vernetzen verschiedenster Materialien und das Verbalisieren der Kausalzusammenhänge.

Die materiale Grundlage bilden die im Folgenden skizzierten Lernaufgaben, mit deren Hilfe die Schülerinnen und Schüler den Einfluss einer Temperatur- und einer Druckveränderung auf die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Was-

ser untersuchen und erläutern.³ Der Einfluss der genannten Parameter sowie die Experimentiertechnik kann optional auch über die Löslichkeit von Sauerstoff und die Bewertung von Werbeaussagen angebahnt werden.

Das hierbei bewusst eingeführte Kohlenstoffdioxid-Hydrogencarbonat-Gleichgewicht ist mit Blick auf eine spätere Vernetzung im Bereich natürlicher Kreisläufe und Klimaveränderungen von besonderer Relevanz.

Zum besseren Verständnis sollen exemplarisch einzelne Materialien und Aufgaben aus der gesamten Lernaufgabe für die Durcharbeitung eines Prototyps den von Leisen (2010) beschriebenen Schritten des Lernprozesses zugeordnet und hinsichtlich ihrer Funktionalität erklärt werden.

Der Prototyp: Einfluss der Veränderung der Temperatur auf das chemische Gleichgewicht

Ausgehend von verschiedenen stark carbonatisierten Wässern (still, classic) oder auch der Vorführung eines Sodastreamers wird basierend auf den Reaktionsgleichungen zum Ankommen im Lernkontext offenbar gemacht, was bei Zugabe von Kohlenstoffdioxid in Wasser passiert. Die Zugabe des Indikators unterstützt das Verständnis der Abläufe.

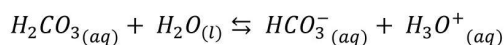
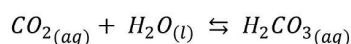
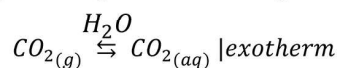
Daraus entwickelt sich die Problemstellung, wie verschiedene „Gleichgewichtslagen“ erreicht werden können.

In Material 1 der Lernaufgabe werden der Kontext, das Vorwissen, die Problemstellung und die antizipierten Hypothesen mitsamt Reaktionsgleichungen sowie Massenwirkungsgesetz noch einmal zusammengefasst.

Das Material dient zugleich der späteren Erläuterung der ausgeübten Störung auf ein bestehendes Gleichgewicht sowie der nachfolgenden Neueinstellung des Gleichgewichts.

M1 – Informationen zur Kohlensäure

Natürliches Mineralwasser enthält ebenso wie „selbstgemachtes“ Sprudelwasser Kohlensäure ($\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$), die ihrerseits durch Lösen von Kohlenstoffdioxid (CO_2) in Wasser gemäß folgender Reaktionsgleichungen entsteht:



$$K_1 = \frac{c(\text{CO}_{2(aq)})}{c(\text{CO}_{2(g)})} \quad K_2 = \frac{c(\text{H}_2\text{CO}_{3(aq)})}{c(\text{CO}_{2(aq)}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})} \quad K_3 = \frac{c(\text{HCO}_3^-(aq)) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+(aq))}{c(\text{H}_2\text{CO}_{3(aq)}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}$$

Im Folgenden soll untersucht werden, ob der Druck und die Temperatur einen Einfluss auf die Menge an gelöstem Kohlenstoffdioxid und somit auch auf die Kohlensäuremenge in der Lösung haben (siehe auch [Downloadmöglichkeit](#) und [Links zum Web-Auftritt](#)).



Bild frei verfügbar unter Wikimedia Commons.

Material 1: Problemstellung und antizipierte Hypothesen als Grundlage der späteren Erläuterung

Die Aufgaben A1 und A2 strukturieren die Bearbeitung der Lernmaterialien und die Erstellung eines ersten Lernprodukts. A3 ist eine sinnvolle Vernetzung auf dem Weg zur Verallgemeinerung der dabei gewonnenen Erkenntnisse, wenn zuvor die Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser behandelt wurde.

³ Zur Downloadmöglichkeit siehe Links zum Web-Auftritt.

⁴ Siehe auch Downloadmöglichkeit und Links zum Web-Auftritt.

Aufgaben

- A1 **Führen** Sie V1 wie beschrieben **durch**, notieren Sie Ihre Beobachtung und Messergebnisse.
- A2 **Werten** Sie den Versuch jeweils hinsichtlich der Versuchsüberschrift **aus**. (*Die Untersuchung zeigt, dass ..., die Hypothese ... konnte damit ..., verallgemeinernd lässt sich festhaltend: je ..., desto ...*)
- A3 **Nehmen** Sie auch hier noch einmal **vergleichend Rückbezug** auf die Herstellung von Active O₂ und **erläutern** Sie die dort dargestellten Maßnahmen des Herstellers.

Material 2: Aufgabenstellung für die sukzessive Bearbeitung

Erfahrungsgemäß sind die Experimente zum Einfluss der Temperatur in ihrer Durchführung leichter zu verstehen als die zum Einfluss des Drucks. Dies kann als Argument dafür dienen, dass die Lehrperson die Reihenfolge der Untersuchungen wie in A1 festlegt und eine Versuchsvorschrift V1 wie folgt vorgibt:

V1 – Untersuchung der Temperaturabhängigkeit der Wasserlöslichkeit von CO₂

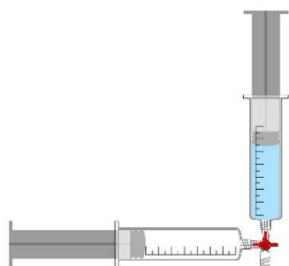
Material

- Schutzbrille
- 2 Spritzen (50 mL)
- 1 Dreiwegehahn
- Schaumstoffisolierung

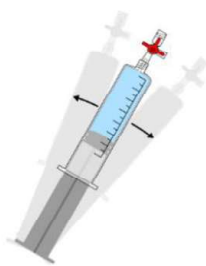
Chemikalien

- abgekochtes Wasser mit drei verschiedenen Temperaturen (ca. 4 °C, ca. 25 °C, ca. 50 °C)
- Kohlenstoffdioxid
- ggf. Mischindikator Nr. 5

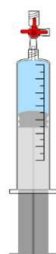
Entsorgung: über den Abguss



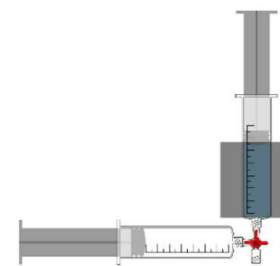
Eine Spritze wird mit 25 mL Wasser (Raumtemperatur) befüllt, die andere mit 30 mL Kohlenstoffdioxid. Über den Dreiwegehahn wird das Gas zum Wasser gegeben. Der Hahn wird verschlossen und die leere Spritze wird abgeschraubt.



Durch vorsichtiges Schütteln wird das Gas nach und nach im Wasser gelöst.



Zum Ablesen des restlichen Gasvolumens wird die Spritze immer auf ihren Stempel gestellt. Bleibt das Gasvolumen unverändert, wird ermittelt, wie viel Milliliter CO₂ sich in 25 mL Wasser gelöst haben.



Der Versuch wird einmal mit deutlich kälterem oder deutlich wärmerem Wasser wiederholt. Dazu wird die Spritze **vorab mit einer Wärmeisolierung** überzogen, damit sich die Wassertemperatur während des Versuchs möglichst wenig verändert.

Material 3: Versuchsanleitung V1 zur Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in verschieden warmem Wasser

Alternativ wäre ein freier Ansatz, in dem Schülerinnen und Schüler beispielsweise die Experimente zum Einfluss der Temperatur selbst planen, möglich.

Schon der Kontext und die Experimente ermöglichen ein Erkennen der Beeinflussung eines Gleichgewichts durch den Parameter Temperatur und die Verknüpfung mit den Reaktionsgleichungen und dem Massenwirkungsgesetz.

Diese Zusammenhänge können daraufhin zunächst präsentiert, anschließend diskutiert und gesichert werden.

Gemäß den oben dargestellten Grundprinzipien sollen aber möglichst alle Betrachtungsebenen angesprochen und genutzt werden.

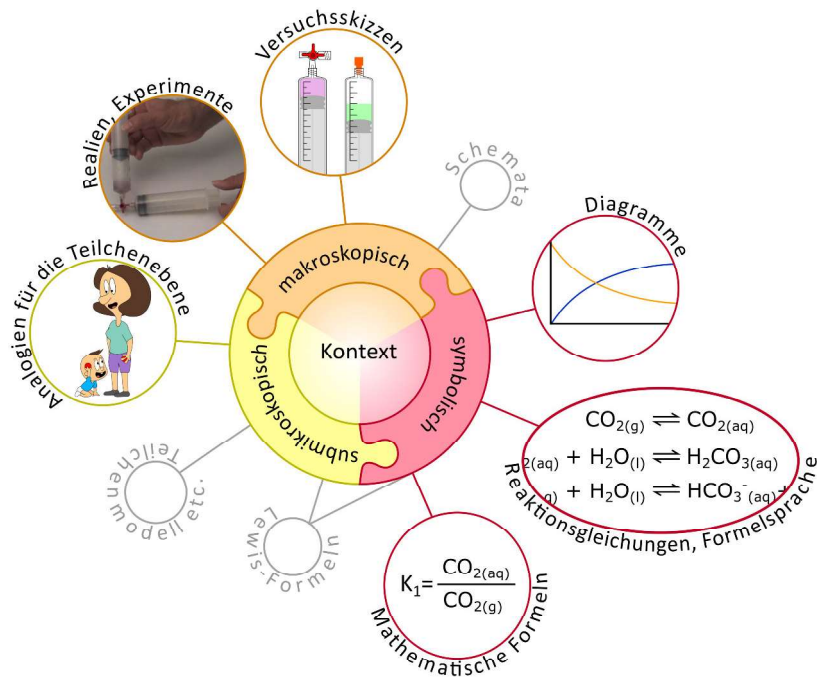


Abbildung 5: Betrachtungs- und verschieden abstrakte Darstellungsebenen für das Beispiel konkretisiert

Ergründet man folglich die Zusammenhänge zusätzlich in Form einer Analogie auf der Teilchenebene, lässt sich damit bei vielen Schülerinnen und Schülern ein vertieftes Verständnis herbeiführen. Diese noch fehlende Betrachtungsebene kann eine Modellierung in Form der bekannten Bälleschlacht⁵ mit veränderten Parametern infolge der Temperaturveränderung liefern. Sie ermöglicht ein Erläutern der Vorgänge im Diskontinuum und zeigt letztlich, dass sich im Massenwirkungsgesetz zunächst die Massenwirkungskonstante K verändert und sich auf diese „Störung“ folgend der Massenwirkungsquotient Q anpasst.

Aktiver Umgang mit dem Konzept: Einfluss der Veränderung des Drucks auf das chemische Gleichgewicht

Analog können Lernende nachfolgend den Einfluss des Drucks untersuchen und erläutern. Die dann bereits bekannte Vorgehensweise sollte so auf einen weiteren Sachverhalt angewendet und verinnerlicht werden, um später eine Vernetzung verschiedener Blickwinkel zu ermöglichen.

Um dies zu erreichen, sind die nachfolgenden Materialien ähnlich wie die vorherigen gestaltet.

Die Erfahrungen der Projektmitglieder zeigen, dass auch hier eine offene Versuchsplanung durch die Lernenden prinzipiell möglich ist. Die experimentelle Bestätigung der Druckabhängigkeit der Löslichkeit hängt in diesem Experiment aber davon ab, dass ein genügend großer Unterdruck auf eine gesättigte

⁵ Material 2 mit weiterführenden Aufgaben, zur Downloadmöglichkeit siehe Links zum Web-Auftritt.

Lösung ausgeübt wird. In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Schülerinnen und Schüler in Unkenntnis der exakten Vorgehensweise mitunter unwissend falsch negative Ergebnisse erhielten. Um dies zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Versuchsdurchführung detailliert vorzugeben.

Die Modellierung in Form der Bälleschlacht, in welcher nun der von der Mutter verteidigte Raum vergrößert wird, vertieft nicht nur erneut das Verstehen. Sie stellt zudem eine eigene Herausforderung an die Lernenden dar, wenn sie die Analogie komplett durchdenken und erklären sollen und bei der vergleichenden Zuordnung sowohl passende als auch weniger passende Aspekte herausstellen.

Anwendung des Konzepts: die Katastrophe am Lake Nyo; Druck- und Konzentrationsänderungen

Den Abschluss dieser Einheit stellt eine materialbasierte Aufgabe zur „Katastrophe am Lake Nyo“ dar. Fachlich schließen die Materialien unmittelbar an die zuvor behandelten Gleichgewichtsverschiebungen an und erweitern gleichzeitig den Horizont mit neuen Aspekten wie der Abhängigkeit des Drucks von der Wassertiefe.

The image shows three pages of educational material for a task about the Lake Nyo disaster. The pages contain text, diagrams, and graphs.

Page 1 (Left): Titled 'Die Katastrophe am Lake Nyo in Kamerun'. It includes a diagram (Abb. 1.1) showing the lake's depth and a cross-section of the lake bed. Text describes the lake's depth (200m) and the volcanic crater it occupies. A second diagram (Abb. 1.2) shows a 'CO₂-Wolke' (CO₂ cloud) rising from the lake bed.

Page 2 (Middle): Titled 'Die Katastrophe am Lake Nyo in Kamerun'. It includes a diagram (Abb. 2.1) showing CO₂ concentration profiles at different depths. Text discusses the relationship between pressure and CO₂ concentration. A graph (Abb. 2.2) plots CO₂ concentration (mmol/mol) against water depth (m) for two dates: 27 January 2001 and 27 November 1986. The graph shows a sharp increase in CO₂ concentration near the bottom of the lake.

Page 3 (Right): Titled 'Die Katastrophe am Lake Nyo in Kamerun'. It includes a diagram (Abb. 3.1) showing CO₂ concentration profiles at different depths. Text discusses the relationship between pressure and CO₂ concentration. A table (Tab. 1) shows CO₂ concentrations at different depths for two dates: 27 January 2001 and 27 November 1986. The table shows a sharp increase in CO₂ concentration near the bottom of the lake.

Tiefe (m)	27. Januar 2001	27. November 1986
182,0 m	154,6	238,6
170,0 m	175,3	244,6
150,0 m	210,4	301,6
130,0 m	205,1	301,6
110,0 m	181,2	244,6
90,0 m	162,2	244,6

Abbildung 6: Material zur Lernaufgabe „Die Katastrophe am Lake Nyo“⁶

Mit dieser Aufgabe lässt sich die schon weiter oben angesprochene Fähigkeit, verschiedenste Materialien sinnvoll miteinander zu verknüpfen und Sachzusammenhänge sprachlich angemessen darzustellen, trainieren und verbessern. Die Lernenden müssen Texte auswerten, Kurvendiagramme interpretieren und mit tabellarischen Werten und Schemadarstellungen in Verbindung setzen. Auf diese Weise können die Sachverhalte, die zur Katastrophe führten, schlüssig erläutert und die danach ergriffenen Gegenmaßnahmen erklärt und beurteilt werden.

Methodisch sind die Kausalzusammenhänge zwischen den verschiedenen Materialien in Form einer Argumentationskette zu formulieren und klar darzustellen. Hierbei müssen die Schülerinnen und Schüler die wechselseitig interdependierenden Einzelprozesse herausstellen und in eine Reihenfolge bringen, um schließlich Ursache und Wirkung argumentativ sinnvoll zu erläutern.

6 Zur Downloadmöglichkeit siehe Links zum Web-Auftritt.

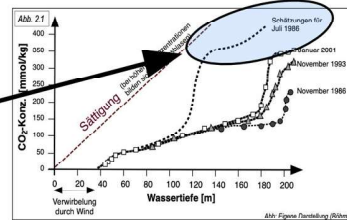
Argumentationskette zur Erklärung des Lake-Nyos-Desasters

Ausgangssituation (Sommer 1986)

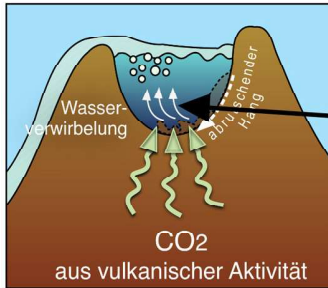
Im Verlaufe von Jahrzehnten diffundierte reines CO_2 aus dem Boden ins Tiefenwasser des Sees. Wegen hoher CO_2 -Konz. Verschiebung der Gleichgewichte 1 und 2 auf die Produktseite.

Wegen des großen Drucks durch das darüberliegende Wasser (Abb. 2.1) lässt sich sehr viel CO_2 im Tiefenwasser lösen (Lösungsgleichgewicht auf der Seite mit weniger gasförmigen Teilchen)

Im Sommer 1986 sehr hohe CO_2 -Konz. im Tiefenwasser (rel. nah an der Sättigungskonzentration)



Prozesse, die zum Lake-Nyos-Desaster führten



Erdbeben im Innern des Kraters

Lautes Grummeln

Wasser vom Seegrund wird nach oben geschoben.

Wasser ist in geringerer Tiefe geringerem Druck ausgesetzt (Abb.2.1).

Löslichkeit von CO_2 in Wasser nimmt ab, da Lösungsgleichgewicht auf die Eduktseite verschoben wird (die Seite mit mehr gasförmigen Teilchen).

Im nach oben gedrückten Wasser entstehen Gasblasen, da die Sättigung in geringerer Tiefe überschritten ist.

Gasblasen bewegen sich wegen geringerer Dichte nach oben. Dabei nimmt Druck ab, wodurch sich die Gasblasen noch ausdehnen.

Blubbern

Zusätzliche Wasserverwirbelungen, die weiteres Tiefenwasser mit nach oben ziehen, wodurch weitere Gasblasen entstehen usw.

Massen von Gasblasen schießen an die Wasseroberfläche und erzeugen eine riesige Fontäne und eine Wolke aus zerstäubtem Wasser.

Fontäne, weiße Wolke

Entweichendes Kohlendioxid verteilt sich wegen der größeren Dichte als Luft auf dem Boden in der Nähe des Berges und verdrängt dort die Luft. Lebewesen ersticken.

Das hochgeschleuderte Tiefenwasser enthält auch Sedimentanteile; diese landen letztendlich im Oberflächenwasser.

Oberflächenwasser bräunlich

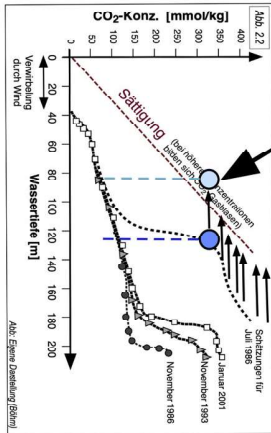


Abbildung 7: Eine mögliche Argumentationskette

Diese Leistung wird in vielen Klausuren eingefordert, wenn die Lernenden einen Sachverhalt materialbasiert erläutern sollen. Gerade deshalb sollte dies zu Beginn der Oberstufe im Unterricht eingeübt werden. Erfahrungsgemäß müssen Anfänger dabei zunächst an die wissenschaftliche Vorgehensweise herangeführt werden, zentrale Aussagen durch konkrete Bezüge zum Datenmaterial zu belegen. Eine Stärke der Methode liegt darin, dass nach dem Erstellen der Grundstruktur der Argumentationskette Ergänzungen mit allen im Plenum diskutiert werden können.

Obwohl der Einfluss der Änderungen von Konzentrationen auf das Gleichgewicht bereits bei der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid immanent eine Rolle spielt, kann es sich lohnen, diesen Aspekt vertiefend am etablierten Versuch mit Eisenthio-cyanat zu betrachten.

Hier ist es sinnvoll, die Analogie zum Ausgangspunkt von begründeten Vermutungen herzustellen, die es nachfolgend zu prüfen gilt. Basierend auf ihren Vorerfahrungen und der Analogie der Bälle-schlacht, in der nun ein bestehendes Gleichgewicht durch Zugabe von Bällen auf der Eduktseite (siehe Abbildung 8) gestört wird, können die Lernenden die Hypothese aufstellen, dass es folglich zu einer Neuverteilung von Edukten und Produkten kommen kann.



Abbildung 8: Analogie zur Konzentrationsveränderung im Gleichgewicht⁷

Übertragung der Prinzipien auf andere Kontexte

Es folgt ein inhaltlicher Schwerpunkt, der aufgrund seiner gesellschaftlichen Relevanz und Lebensbedeutsamkeit für die Lernenden in den Fokus genommen werden sollte: der Kohlenstoffkreislauf und der anthropogene Einfluss auf den Klimawandel samt den daraus folgenden Konsequenzen.

Hierbei rücken im Sinne einer Bildung für nachhaltige Entwicklung folgende konkretisierte Kompetenzerwartungen (MSW, 2014, S. 26 f.) ins Zentrum der Betrachtung:

Die Schülerinnen und Schüler

- formulieren Fragestellungen zum Problem des Verbleibs und des Einflusses anthropogen erzeugten Kohlenstoffdioxids (u. a. im Meer) unter Einbezug von Gleichgewichten (E1), [...]
- zeigen Möglichkeiten und Chancen der Verminderung des Kohlenstoffdioxid-ausstoßes und der Speicherung des Kohlenstoffdioxids auf und beziehen politische und gesellschaftliche Argumente und ethische Maßstäbe in ihre Bewertung ein (B3, B4),
- beschreiben und bewerten die gesellschaftliche Relevanz prognostizierter Folgen des anthropogenen Treibhauseffektes (B3) [...].

⁷ Zur Downloadmöglichkeit siehe Links zum Web-Auftritt.

Die grundlegenden Voraussetzungen für ein Erfassen dieser Sachverhalte sind in dem Verständnis des Kohlenstoffdioxid-Hydrogencarbonat-Carbonat-Gleichgewichts und der Kenntnis seiner Beeinflussbarkeit umfassend angelegt.



Erst mit deren Anwendung können wir von einem Erwerb konzeptionellen Wissens sprechen!

Alle weiteren Anwendungsaufgaben ermöglichen es den Lernenden, ihren erworbenen Lernzuwachs in diesem wichtigen Anwendungsfeld zu vernetzen. Sie folgen der Leitlinie Kontextualisierung → Dekontextualisierung → Rekontextualisierung. Passend dazu hat die Projektgruppe zunehmend komplexe Materialien, Musterklausuren sowie auch diverse Diagnoseformate zu den Kalkterrassen von Pamukkale, zur Dolinen- bzw. Tropfsteinhöhlenbildung und der Versauerung der Weltmeere entworfen.

Mit diesen und weiteren Materialien gelingt ein Verständnis und die Möglichkeit der Beurteilung der Vorgänge rund um den Klimawandel.

Links zum Web-Auftritt

Hier finden Sie auch alle weiteren Materialien

Plattform	Link	QR-Code
Materialdatenbank QUA-LiS NRW Schulentwicklung	https://www.schulentwicklung.nrw.de/sinus/front_content.php?idcat=4749&lang=9	
LebensNaher ChemieUnterricht (LNCU)	https://www.lncu.de/index.php?cmd=courseManager&mod=course&action=learn&courseId=85	

3 Erfahrungsberichte, Evaluation

Einbeziehung der Lernenden

Feedback erhöht die Qualität von Unterricht. Die Evaluation des vorliegenden Unterrichtsmoduls lässt sich durch die Implementation von Feedbackinstrumenten realisieren. Neben klassischen Lernerfolgskontrollen in Form von Klausuren rücken Diagnosetools, an den konkretisierten Kompetenzerwartungen orientierte Schülerelbsteinschätzungen und allgemeine Schülerrückmeldungen zur Unterrichtsreihe (Zielscheibe, Fünf-Finger-Methode) in den Fokus.

Das hilft sowohl den Lernenden als auch den Lehrenden, den Status quo des Lernfortschritts besser einzuschätzen. Im Hinblick auf die vom Kernlehrplan intendierte Erreichung von übergeordneten und konkretisierten Kompetenzerwartungen ist diese Positionsbestimmung wichtig und unerlässlich. Den Lehrenden ermöglicht es, nach der Auswertung noch Feinjustierungen des Unterrichts vorzunehmen und, wenn erforderlich, Sachverhalte noch einmal zu vertiefen oder einzuüben. In der Praxis hat sich gezeigt, dass dazu besonders die an den konkretisierten Kompetenzerwartungen orientierte Schülerelbsteinschätzung geeignet ist.

Interessant an dieser Stelle erscheint das Instrument der „Challenge“, die ein Zwischenergebnis über schon erreichte oder eben noch nicht erreichte

Kompetenzen offenbart. Hierbei bewerten sich die Lernenden gegenseitig anonym auf Basis von an den konkretisierten Kompetenzerwartungen angelehnten Aufgabenstellungen in Partnerarbeit. Entscheidend für die Bewertung sind die gezeigte Sicherheit und die methodische Herangehensweise an die Aufgabenstellung sowie die fachliche Richtigkeit. Die Lösungen sind zur Kontrolle jeweils vorgegeben.

Bei einem anderen Ansatz kann man das Ausfüllen von vorgefertigten Bögen aus Effizienzgründen auch aus der Unterrichtszeit in die häusliche Arbeit auslagern, zumal hier eine sehr persönliche, ehrliche Einschätzung erfolgen soll. Als digitale Plattformen für Feedback kann man z. B. auch <https://edkimo.com/de/> bzw. <https://www.sefu-online.de/> benutzen.

Auch bei den allgemeiner formulierten Rückmeldungen zur gesamten Unterrichtsreihe gibt es verschiedene Instrumente. So liefert z. B. die Zielscheibe bei einer Auswertung im Plenum recht schnell transparente und deutliche Ergebnisse. Für eine genauere Analyse empfiehlt sich allerdings eher die Fünf-Finger-Methode, da die Lehrkraft dort die Kommentare in Ruhe auswerten kann.

Das Schüler-Feedback in dieser Form enthält dabei meistens auch Rückmeldungen zu den eingesetzten Methoden und Arbeitsblättern. Lehrende können hier wertvolle Impulse für die folgenden Unterrichtsreihen bzw. andere Lerngruppen erhalten, wobei man berücksichtigen muss, dass es bei Gruppen natürlich immer eine Bandbreite an verschiedenen Präferenzen gibt.

Im vorgestellten Unterrichtsmodul bezogen sich positive Schüleräußerungen z. B. auf:

- das Anwenden des Gelernten in Alltagskontexten,
- die bildliche Darstellung von Reaktionen (Analogie Bälleschlacht),
- die Einbeziehung des Klimawandels in den Unterricht.

Einbeziehung der Lehrenden

Unterricht stellt für Lehrende immer eine Optimierungsaufgabe dar. Dazu bedarf es auch Feedback von Kolleginnen und Kollegen. Neben dem Austausch innerhalb der Fachschaften besteht an einigen Schulen die Möglichkeit kollegialer Hospitationen. Diese kann z. B. genutzt werden, spezielle Unterrichtsinhalte bzw. -methoden nach dem Vier-Augen-Prinzip multiperspektivisch zu betrachten und zu analysieren. Hier bietet es sich an, Schlüsselstunden mit hohem Methoden- oder Experimentalanteil (z. B. Einführung der Bälleschlacht, Active O₂) auszuwählen und Beobachtungsschwerpunkte im Vorfeld festzulegen.

Teile des vorliegenden Unterrichtsmaterials wurden bereits von zahlreichen Lehrerinnen und Lehrern als auch von Referendarinnen und Referendaren in der Praxis eingesetzt und genutzt. Im Sinne der oben angesprochenen Optimierung gab es so schon zahlreiche Verbesserungsvorschläge, die u. a. die Formulierungen der Aufgabenstellungen, Darstellung auf Arbeitsblättern und die Reihenfolge des Unterrichtsganges betrafen.

4 Zusammenfassung, Schlussfolgerungen, Perspektiven

Materialien sinnhaft zu verknüpfen und Sachverhalte zu erläutern, soll den Schülerinnen und Schülern dann in der Qualifikationsphase weiter nahegebracht werden. Da sie hier aber schon weiter fortgeschritten sind, erfolgt dies

zunehmend komplexer und weniger angeleitet in Form weiterer materialbasierter Lernaufgaben, an denen die Projektgruppe zurzeit arbeitet.

Das im Rahmen des SINUS-Projekts für die Einführungsphase ausgearbeitete Modul hat dabei insofern einen Beispielcharakter, als dass es in seiner Grundstruktur mit der umfassenden Kompetenzorientierung, der methodischen Vielfalt, den Diagnosetools und der Feedbackkultur auch für die Qualifikationsphase übernommen werden kann. Dazu hat die Projektgruppe auch hier beispielhaft eine Übersichtsstruktur erarbeitet:

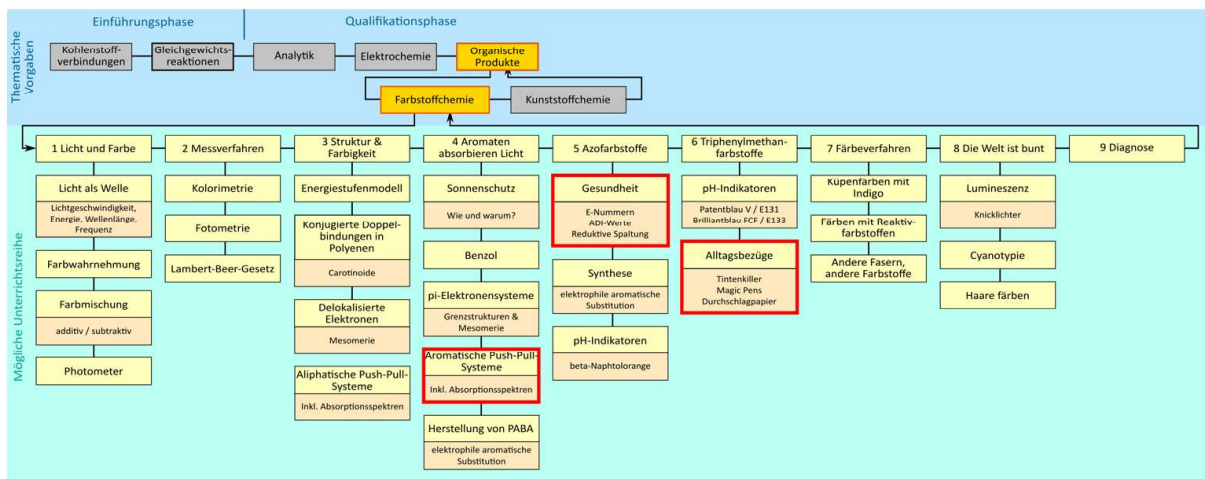


Abbildung 9: Übersicht über Sequenzen und Materialien für die Q2⁸

Literatur

- Dickerson R. & Geis, I. (1983). *Chemie – eine lebendige und anschauliche Einführung* (1. Nachdruck der 1. Aufl.). Weinheim: Verlag Chemie.
- Gräber, W., Nentwig, P., Koballa, T. & Evans, R. (Hrsg.) (2002). *Scientific Literacy – Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung*. Opladen: Leske + Budrich.
- Heeg, J., Steinich, R. & Hundertmark, S. (2018). Stolpersteine auf dem Weg zum chemischen Gleichgewicht. Möglichkeiten, sie zu erkennen und zu überwinden. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 29 (166), 32–37.
- Krabbe, H., Zander, S. & Fischer H. E. (2015). *Lernprozessorientierte Gestaltung von Physikunterricht. Materialien zur Lehrerfortbildung*. Münster: Waxmann. Verfügbar unter <http://www.ganzin.de/wp-content/uploads/2015/10/Lernprozessorientierte-Gestaltung-von-Physikunterricht.pdf> [26.05.2019].
- Krause, M. & Eilks, I. (2018). Die Einstellung des chemischen Gleichgewichts modellieren. Mit Stop-Motion-Videos von der Beobachtungs- zur Teilchenebene. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 29 (166), 27–31.
- Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik. Bereich naturwissenschaftliche Kompetenz. Verfügbar unter http://archiv.ipn.uni-kiel.de/PISA/fr_reload.html?naturwissenschaft.html [13.12.2019].
- Leisen, J. (2010). *Lernaufgaben als Lernumgebung zur Steuerung von Lernprozessen*. Verfügbar unter <http://www.josefleisen.de> [26.05.2019].
- Leisen, J. (2020). *Prinzipien im sprachsensiblen Fachunterricht*. Verfügbar unter <http://www.sprachsensiblerfachunterricht.de/prinzipien> [22.07.2020].

⁸ Schwerpunkte, an denen die Projektgruppe zurzeit arbeitet, sind hervorgehoben.

- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (MSW) (2014). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen*. Chemie. Düsseldorf. Verfügbar unter <https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplannavigator-s-ii/gymnasiale-oberstufe/chemie/chemie-klp/aufgaben-ziele/index.html> [13.12.2019].
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (MSW) (2015). *Referenzrahmen Schulqualität NRW*. Verfügbar unter https://www.schulentwicklung.nrw.de/e/upload/referenzrahmen/download/Referenzrahmen_Veroeffentlichung.pdf [13.12.2019].
- Petermann, K., Friedrich, J. & Oetken, M. (2008). Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren. *CHEMKON: Forum für Unterricht und Didaktik*, 15 (3), 110 – 118.
- Obendrauf, V. (1996). Experimente mit Gasen im Minimaßstab. *Chemie in unserer Zeit*, 30 (3), 118–125.
- von Borstel, G. & Böhm, A. (2006a). Active O₂ – Powerstoff mit Sauerstoff, kontextorientierte Prüfung von Werbeaussagen. *MnU*, 7 (59), 413–415.
- von Borstel, G. & Böhm, A. (2006b). Le Chatelier einmal anders, Gleichgewichtsverschiebungen am Kontext Sprudelwasser. *Naturwissenschaft im Unterricht Chemie*, 6 (96), 34–37.
- von Borstel, G., Eusterholz, M. & Böhm, A. (2017). Mehr „spritziige“ Experimente mit Gasen. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 28 (157), 17–22.

Projektgruppe

Andreas Bindl, Sankt-Adelheid-Gymnasium, Bonn

Andreas Böhm, Peter-Jörres-Gymnasium, Ahrweiler

Gregor von Borstel, Alexander-von-Humboldt-Gymnasium, Bornheim

Manfred Eusterholz, Städtisches Gymnasium Hennef

David Weninger, Gymnasium Rodenkirchen, Köln