



STEMkey-
Modul
106



Chemische Reaktionen

Dieses Dokument zum Hochschulmodul basiert auf der Arbeit im Rahmen des Projekts „Vermittlung von STEM-Standardthemen mit einem Schlüsselkompetenzansatz (STEMkey)“. Koordination: Prof. Dr. Katja Maaß, Internationales Zentrum für STEM-Bildung (ICSE) an der Pädagogischen Hochschule Freiburg, Deutschland. Partner: Karlsuniversität, Konstantin-der-Philosoph-Universität, Hacettepe-Universität, Institut für Erziehungswissenschaften der Universität Lissabon, Norwegische Universität für Wissenschaft und Technologie, Universität Innsbruck, Universität Maribor, Universität Nikosia, Naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Zagreb, Universität Utrecht, Universität Vilnius.

Das Projekt STEMkey wird durch das Erasmus+-Programm der Europäischen Union im Rahmen der Fördervereinbarung Nr. 2020-I-DE01-KA203.005671 kofinanziert. Weder die Europäische Union/Europäische Kommission noch der Deutsche Akademische Austauschdienst DAAD sind für den Inhalt verantwortlich oder haften für Verluste oder Schäden, die durch die Nutzung dieser Ressourcen entstehen.

© STEMkey-Projekt (Fördernummer 2020-I-DE01-KA203.005671) 2020-2023, Hauptbeiträge für das STEMkey-Modul IO6 von der Karlsuniversität. CC-NC-SA 4.0-Lizenz gewährt.



INHALT

| | |
|---------------------------------------|----|
| Zusammenfassung | 3 |
| Einführung in das Thema | 4 |
| Ansatz der Schlüsselkompetenzen | 5 |
| Interdisziplinärer Ansatz | 6 |
| Lernziele | 7 |
| Modulplan | 8 |
| Materialien und Ressourcen | 22 |
| Bewertung | 22 |
| Referenzen | 23 |



Zusammenfassung

Chemische Reaktionen sind ein Standardthema im Chemieunterricht, weshalb angehende Lehrkräfte darauf vorbereitet sein müssen. In traditionellen naturwissenschaftlichen Unterrichtsstunden wird dieses Thema jedoch oft anhand eines Beispiels behandelt, woraufhin chemische Gleichungen ohne direkten Bezug zu experimentellen Aktivitäten durchgenommen werden. Zu den traditionellen Unterthemen gehören die Klassifizierung chemischer Reaktionen, die formale Beschreibung und der enge Zusammenhang mit der chemischen Nomenklatur und mathematischen Fähigkeiten.

Das Ziel dieses Moduls war die Entwicklung eines innovativen Unterrichtsmaterials zum Thema „Chemische Reaktionen“ für die Lehrkräfteausbildung. Dabei sollte eine konzeptionelle und pädagogische Verbesserung des Themas erreicht werden, das als Schlüsselement und kritischer Punkt der frühen Chemie-/Naturwissenschafts-/MINT-Ausbildung identifiziert wurde. Ausgehend von Beispielen aus der Praxis und den Erfahrungen von Lehrkräften und Lernenden sowie der Analyse von Lehrbüchern und anderen Unterrichtsmaterialien wurden Leitfäden, Arbeitsblätter und Präsentationen für die Ausbildung angehender LehrerInnen für Chemie/Naturwissenschaften/MINT erstellt. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Frage, wie der Unterricht zum Thema „Chemische Reaktionen“ in reichhaltige Lernerfahrungen für SchülerInnen umgewandelt werden kann, die die Entwicklung von Schlüsselkompetenzen fördern.

Zukünftige Lehrkräfte müssen die Notwendigkeit der Förderung der Entwicklung von Schlüsselkompetenzen beim Unterrichten von Chemie-/Naturwissenschafts-/MINT-Fächern mit Schwerpunkt auf chemischen Reaktionen erkennen und reflektieren. Sie werden durch unser Modul in den Schlüsselkompetenzrahmen der EU eingeführt, der drei Elemente einer Schlüsselkompetenz umfasst: Kenntnisse, Fähigkeiten und Einstellungen anhand konkreter Beispiele aus dem Alltag, die chemische Reaktionen betreffen, und zur Unterstützung einer nachhaltigen Entwicklung (Industrie, Landwirtschaft, Verkehr usw.).

Unser Schwerpunkt liegt darauf, angehende Lehrkräfte in pädagogische Ansätze einzuführen, die dabei helfen, die „Inhalte“ des Themas „Chemische Reaktionen“ und die damit verbundenen Aufgaben in Aufgaben umzuwandeln, die den SchülerInnen eine aktive Rolle geben, reale Kontexte nutzen, verschiedene Disziplinen verbinden und die Vielfalt der SchülerInnen berücksichtigen. Dies wird auch anhand von Versuchszyklen gezeigt. Es gibt wenige gängige Alternativen zur Organisation und Durchführung von Schulversuchen, die auf den gegenseitigen Umwandlungen von Chemikalien basieren, wobei der Ausgangsstoff des Zyklus auch sein Endprodukt ist. Die Zyklen sind mit deutlichen Farbveränderungen der Substanzen, Veränderungen des Zustands der Reaktionspartner und einer Vielzahl von Reaktionstypen verbunden.

Das Modul „Chemische Reaktionen“ soll den Bezug zum Erwerb von Schlüsselkompetenzen in der MINT-Grundbildung stärken. Es ist insofern innovativ, als es sich mit dem Erwerb von Schlüsselkompetenzen und Querschnittskompetenzen befasst. Es handelt sich nicht nur um eine Präsentation „ausgefallener“ experimenteller Aktivitäten ohne tiefergehende Erklärungen, sondern es geht von den tatsächlichen Grundlagen des Chemie-/Naturwissenschafts-/MINT-Unterrichts aus und zielt darauf ab, angehende Lehrkräfte zu befähigen, diese Grundlagen auf innovative Weise zu vermitteln.

Das Modul ist so konzipiert, dass es auf andere Bildungskontexte wie die Lehrkräftefortbildung oder den Unterricht in der Klasse übertragen werden kann.



Einführung in das Thema

Chemische Reaktionen gehören zu den zentralen Themen des Chemieunterrichts und haben direkten Einfluss auf den Lehrplan anderer naturwissenschaftlicher und technischer Fächer. Das Thema kann sowohl als kritischer als auch als zentraler Punkt der allgemeinen und beruflichen naturwissenschaftlichen und technischen Bildung angesehen werden (Vondrová, Rendl et al., 2015, Rychtera, Bílek et al., 2018). Dies hängt mit der Vielschichtigkeit des Themas zusammen, insbesondere mit der großen Anzahl unterschiedlicher Reaktionsarten, ihrer teilweise uneinheitlichen Klassifizierung usw.

Die grundlegende Frage im Zusammenhang mit dem Unterrichten von „chemischen Reaktionen“ lautet, warum manche chemische Substanzen miteinander reagieren und andere nicht. Ist es möglich, vorherzusagen, welche Chemikalien miteinander reagieren werden, gibt es allgemein gültige Regeln für die Reaktivität oder muss man sich auf reale Experimente verlassen, usw.? Im Unterricht zu chemischen Reaktionen wird häufig ein deduktiver Ansatz verwendet, der sowohl für SchülerInnen als auch für LehrerInnen eine Herausforderung darstellt. Die SchülerInnen können über den Verlauf einer chemischen Reaktion informiert werden, der durch ein reales Experiment überprüft werden kann, und sie können versuchen, die Reaktionen anhand verschiedener Kriterien genauer zu charakterisieren. Dieser Ansatz spiegelt sich in traditionellen Lehrbüchern von der Grundschule bis zur Universität wider, in denen die Klassifizierung chemischer Reaktionen nach bekannten Kriterien dargestellt wird: nach äußeren Veränderungen: Zusammensetzungsreaktionen (Synthese, chemische Fusion), Zerlegungsreaktionen (Analyse, chemische Zerlegung), chemische Substitution (Substitution) und Doppelersetzung (Umwandlung); nach Zustand: homogene Reaktionen und heterogene Reaktionen; nach thermischer Farbe: exotherme Reaktionen und endotherme Reaktionen; oder nach Art der übertragenen Teilchen: Säure-Base-Reaktionen, Oxidations-Reduktions-Reaktionen und komplexbildende Reaktionen. Einzelne Reaktionen können dann gleichzeitig nach verschiedenen Kriterien klassifiziert werden.

In den innovativen Ansätzen des Chemieunterrichts zum Thema chemische Reaktionen wird häufig der sogenannte experimentelle Zyklusansatz vorgeschlagen. Dabei handelt es sich um geschlossene Reaktionszyklen mit verschiedenen Arten von Umwandlungen chemischer Substanzen, bei denen der Ausgangsstoff auch das Endprodukt des Zyklus ist. Dieser Umstand weist auf die Vernetzung chemischer Umwandlungen, ihrer Klassifizierung und damit auf das Verständnis ihrer Natur, auch im Kontext des Alltagslebens, hin. Experimentelle Zyklen können sehr vielfältig sein. Sie können sich auf die Umwandlungen anorganischer Stoffe oder auf die Reaktionen organischer Verbindungen im Zusammenhang mit alltäglichen Produktionspraktiken konzentrieren. In anderen Fällen handelt es sich um das Recycling von Abfällen oder um Simulationen von zyklischen Prozessen, die in der Natur ablaufen.



Schlüsselkompetenzansatz

Die Schlüsselkompetenzen sind definiert als eine Kombination aus angewandtem Wissen, Fähigkeiten und Einstellungen (COM, 2019). Im Modul „Chemische Reaktionen“ werden schülerzentrierte Lernansätze, Bezüge zum realen Leben, Transdisziplinarität und IKT-gestütztes Lernen eingesetzt.

Wissen

Im Bereich Naturwissenschaften umfasst die Wissenskomponente das Verständnis der Grundprinzipien der Natur, grundlegende wissenschaftliche Konzepte, Theorien, Gesetze und Methoden, Technologien und technologische Produkte und Prozesse sowie das Verständnis der Auswirkungen von Naturwissenschaften, Technik, Ingenieurwesen und menschlichen Aktivitäten im Allgemeinen auf die Natur. Insgesamt sollen diese Kompetenzen den Einzelnen in die Lage versetzen, die Fortschritte, Grenzen und Risiken wissenschaftlicher Theorien und Anwendungen sowie technologische Fortschritte in Bezug auf Entscheidungsfindung, Werte, moralische Fragen und Kultur besser zu verstehen (KOM, 2019).

Im Modul „Chemische Reaktionen“ werden die Lernenden in die Grundprinzipien und Folgen chemischer Veränderungen eingeführt, die die Grundlage für das Verständnis der uns umgebenden Welt bilden. Durch die Einbeziehung eines experimentellen Zyklusansatzes lernen die Studierenden verschiedene Arten von Umwandlungen chemischer Substanzen kennen, bei denen die Ausgangssubstanz auch das Endprodukt des Zyklus ist. Dieser Umstand verweist auf die Vernetzung chemischer Umwandlungen, ihre Klassifizierung und damit auf das Verständnis ihrer Natur, auch im Kontext des Alltagslebens.

Fähigkeiten

Fähigkeiten in Naturwissenschaften, Technik und Ingenieurwesen umfassen das Verständnis von Naturwissenschaften als einen Prozess der Untersuchung durch spezifische Methoden, einschließlich Beobachtungen und kontrollierter Experimente, die Fähigkeit, logisches und rationales Denken zur Überprüfung einer Hypothese einzusetzen, und die Bereitschaft, eigene Überzeugungen aufzugeben, wenn sie neuen experimentellen Erkenntnissen widersprechen. Kompetenzen beziehen sich auch auf die Fähigkeit, technologische Werkzeuge und Maschinen sowie wissenschaftliche Daten zu nutzen und damit umzugehen, um ein Ziel zu erreichen oder eine evidenzbasierte Entscheidung oder Schlussfolgerung zu treffen, sowie auf das Erkennen der wesentlichen Merkmale wissenschaftlicher Untersuchungen und die Fähigkeit, die Schlussfolgerungen der Überlegungen, die zu ihnen geführt haben, zu kommunizieren (COM, 2019).

Die Kompetenzen werden im Modul „Chemische Reaktionen“ durch experimentelle Aktivitäten in allen drei Ansätzen „in vivo“ (reale Umgebung des Alltags), „in vitro“ (Laborumgebung) und „in silico“ (Modelle und Simulationen) entwickelt.

Einstellungen

Einstellungen in der Chemie und im weiteren Sinne in den Bereichen Naturwissenschaften, Technologie, Ingenieurwesen und Mathematik umfassen Kompetenzen im kritischen Denken und Wissbegierde sowie die Beschäftigung mit ethischen Fragen und die Unterstützung der ökologischen Nachhaltigkeit.

Das Modul „Chemische Reaktionen“ ist in einem gestaffelten Ansatz aufgebaut, der von „Aufwärmübungen“ über „Vertiefungsübungen“ bis hin zu praktischen Konsequenzen reicht. Ziel ist es, Kompetenzen im kritischen Denken in Bezug auf Nachhaltigkeit und ethische Fragen zu entwickeln, indem Beispiele aus verschiedenen Bereichen des Alltagslebens untersucht und diskutiert werden.

SchülerInnen-zentrierte Lernansätze, Bezüge zum realen Leben, Transdisziplinarität und IKT-gestütztes Lernen werden durch einen kontextbezogenen Ansatz vermittelt, um die Prinzipien chemischer Veränderungen im Alltag vorzustellen. Das Modul umfasst zahlreiche Aktivitäten, darunter die Arbeit mit Informationen, Gruppendiskussionen, praktische Interaktion in experimentellen Aktivitäten usw. Auf diese Weise wird chemisches Wissen mit Wissen aus anderen MINT-Disziplinen in realen Kontexten verknüpft. Die Studierenden verbinden ihr Wissen über chemische Reaktionen auch mit der nachhaltigen und ethischen Nutzung von Ressourcen.

Interdisziplinärer Ansatz

Das Modul „Chemische Reaktionen“ betont die Verflechtung aller MINT-Fächer. Nicht nur die engen Verbindungen zwischen Chemie und anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen werden im Modul aufgezeigt, sondern auch wichtige Verbindungen zu Mathematik, Technik und Ingenieurwesen sowie zu digitalen Ansätzen.

Dies wird durch aktuelle pädagogische Trends umgesetzt, wie z. B.:

- forschendes Lernen, experimentelles Lernen, projektbasiertes Lernen,
- realer Kontext,
- interdisziplinäre Verbindungen zwischen MINT-Fächern,
- Berücksichtigung von Nachhaltigkeit und ethischen Ansätzen,
- Vielfalt der SchülerInnen,
- digitale Tools zur Vertiefung des Verständnisses.



Lernziele

Die Studierenden erwerben

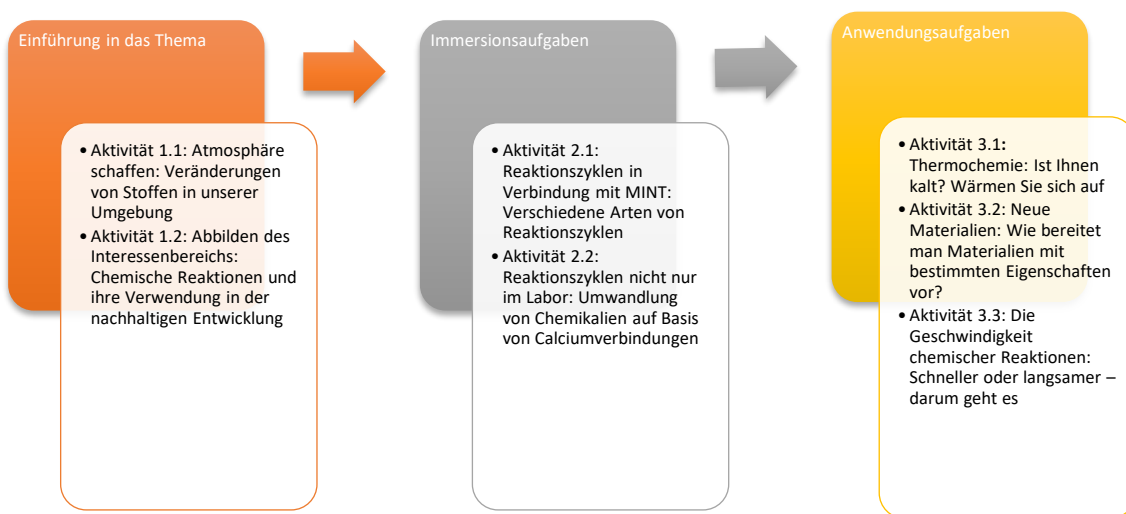
- Verständnis des Konzepts chemischer Reaktion und ihrer Auswirkungen auf den Alltag
- Beispiele für chemische Reaktionen aus verschiedenen Bereichen des Alltags
- Reflexion über spezifische Eigenschaften chemischer Reaktionen und deren Zusammenhang mit dem Mathematik- und Naturwissenschaftsunterricht
- Überzeugungen zu Veränderungen von Stoffen im Zusammenhang mit dem Markt und deren Einfluss auf den Menschen
- Beispiele für eigene Verbindungen zu chemischen Reaktionen aus dem Alltag
- Fähigkeiten zum Vergleich verschiedener Umgangsweisen mit Veränderungen von Stoffen, z. B. Handeln im Sinne einer aktiven und kritischen Bürgerschaft im Gegensatz zum Ignorieren von Beweisen und Befolgen von „Traditionen“
- Gründe für die Einbeziehung von Stoffveränderungen in die MINT-Bildung
- Erfahrungen mit chemischen Reaktionen im Unterricht: Beispiele für realisierbare experimentelle Aktivitäten im Unterricht
- Reflexionen darüber, was SchülerInnen beim Umgang mit einer solchen Aufgabe lernen
- Bereitschaft, Stoffveränderungen in den täglichen Unterricht einzubeziehen
- Erste Einführung in pädagogische Konzepte zum Umgang mit dem Thema chemische Reaktionen
- Konkrete formative Lernziele, die für bestimmte Aktivitäten formuliert wurden.



Modulplan

Dieses Modul umfasst drei Abschnitte, die in verschiedene Aktivitäten gegliedert sind. Es umfasst 360 Minuten Unterricht. Es beinhaltet Vorlesungsteile, Gruppendiskussionen, Präsentationen der Studierenden und Laborarbeiten. Die Struktur ist wie folgt:

- Einführung in das Thema („Aufwärmphase“): 2 x 45 Min.
- Immersionsaufgaben („Multi-Kontext“): 45 + 90 Min.
- Anwendungsaufgaben („Bezug zum Alltag“): 3 x 45 Min.



I. Einführung in das Thema „Chemische Reaktionen“

Einführung

1.1 Heranführen an das Thema

Veränderungen von Stoffen in unserer Umgebung



Dauer: 45 Minuten

Lernziele in Kürze

Dies ist eine Aufwärmübung, die dazu dient, Fakten über chemische Reaktionen im Alltag vorzustellen, wobei der Schwerpunkt darauf liegt, wie diese Reaktionen Stoffe verändern und zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. In diesem Fall werden Veränderungen von Stoffen als Beispiele für positive und negative Einflüsse auf den Alltag herangezogen, um das Vorwissen, die Überzeugungen, Erfahrungen und Einstellungen der Studierenden zu diesem Thema zu erkunden.

Beschreibung der Aktivität

Die Hochschulekraft führt in das Thema im Zusammenhang mit der „Welt der Stoffe“ ein. Sie kann verschiedene Beispiele für physikalische Körper im Klassenzimmer (Ausstattung, Gegenstände, Lehrmittel usw.) anbieten und die Studierenden diskutieren, welche Stoffe diese enthalten. Die Aktivität kann auch an verschiedenen Orten außerhalb des Klassenzimmers oder der Schule stattfinden, z. B. im Garten, in einem Unternehmen (Exkursion), auf der Müllhalde usw. (als Demonstration von für uns alltäglichen, selbstverständlichen Dingen). Zu Beginn leitet die Lehrkraft eine kurze Diskussion mit folgenden Fragen ein:

Welchen Einfluss/welche Auswirkungen haben Stoffe und daraus hergestellte Körper auf unser Leben/das Leben der Menschen? oder

Können Stoffe und daraus hergestellte Gegenstände unser Leben verändern? oder

Was können wir zur Nachhaltigkeit im Hinblick auf den Verbrauch der Stoffe und daraus hergestellten Gegenstände beitragen?

Anschließend wird die interaktive Aktivität vorgestellt. Die Aktivität besteht darin, dass die Studierenden in Zweiergruppen einen Titel und einen kurzen Kommentar zu einem ausgewählten Bild über miteinander verbundene Stoffe und deren positive und negative Veränderungen (Bauindustrie, Metallindustrie, Kunststoffherstellung, Lebensmittelproduktion, Korrosion, Reinigungsprozesse usw.) erstellen. Nach der Arbeit in den Zweiergruppen präsentieren die SchülerInnen ihre Ergebnisse und diskutieren sie mit den anderen.

Interdisziplinärer Ansatz in Kürze

Stoffe und ihre Veränderungen sind sehr komplexe Phänomene. Ihre Veränderungen basieren auf chemischen Reaktionen, aber ihre Verwendung ist ein multidisziplinäres Problem. Im Fall von Korrosion können die Studierenden beispielsweise die negativen Auswirkungen von Stoffveränderungen (z. B. Eisenkorrosion) und die positiven Auswirkungen (z. B. Metallpassivierung) sowie die sozialen (z. B. Allegorie), kulturellen (z. B. Patina) und ökologischen (z. B. Abfall) Folgen diskutieren.

I. Einführung in das Thema „Chemische Reaktionen“

Einführung

1.2 Abgrenzung des Untersuchungsgebiets

Chemische Reaktionen und ihre Verwendung in der nachhaltigen Entwicklung



Dauer: 45 Minuten

Lernziele in Kürze

Diese Aktivität dient der Erfassung ausgewählter Arten chemischer Reaktionen in komplexen sozialen Problemfeldern – chemische Reaktionen im Zusammenhang mit Produktion, Konsum und nachhaltiger Entwicklung – in unterschiedlichen Kontexten.

Beschreibung der Aktivität

Zu Beginn dieser Aktivität wird ein Brainstorming empfohlen (mit den richtigen Rahmenbedingungen – Zeit, verbotene Wörter, technische Umsetzung usw. – siehe Literatur zur Durchführung von Brainstormings). Der zentrale Begriff für das Brainstorming kann „CHEMISCHE REAKTIONEN“ oder verschiedene Arten von chemischen Reaktionen oder Veränderungen von Stoffen sein, z. B. „REDOX-REAKTIONEN“ oder „FERMENTATION“ usw. oder etwas anderes, das mit dem Thema „Chemische Reaktionen als solche“ im Zusammenhang steht. Der nächste Schritt ist das Clustering, d. h. die Klassifizierung der erzeugten Wortgruppen. Die Studierenden schlagen Gruppen wie Wissenschaft, Wirtschaft, Politik, Kultur usw. vor. Der letzte Schritt ist die Erstellung von Konzeptkarten in jeder Wortgruppe und anschließend die Erstellung einer gemeinsamen Konzeptkarte über das Phänomen CHEMISCHE REAKTIONEN in Verbindung mit Diskussionen über verschiedene Erfahrungen, hauptsächlich aus dem Alltag.

Hinweise für Alternativen: Das Brainstorming kann komplexer sein, d. h. es können beispielsweise nur Bedingungen für chemische Reaktionen (Art der Substanzen, Industriebereich, Landwirtschaft usw.) oder Namen oder Wörter mit verschiedenen Begriffen im Zusammenhang mit chemischen Reaktionen (Produktionsprozesse, chemische Reaktionen und Beispiele in verschiedenen Sprachen usw.) erzeugt werden.

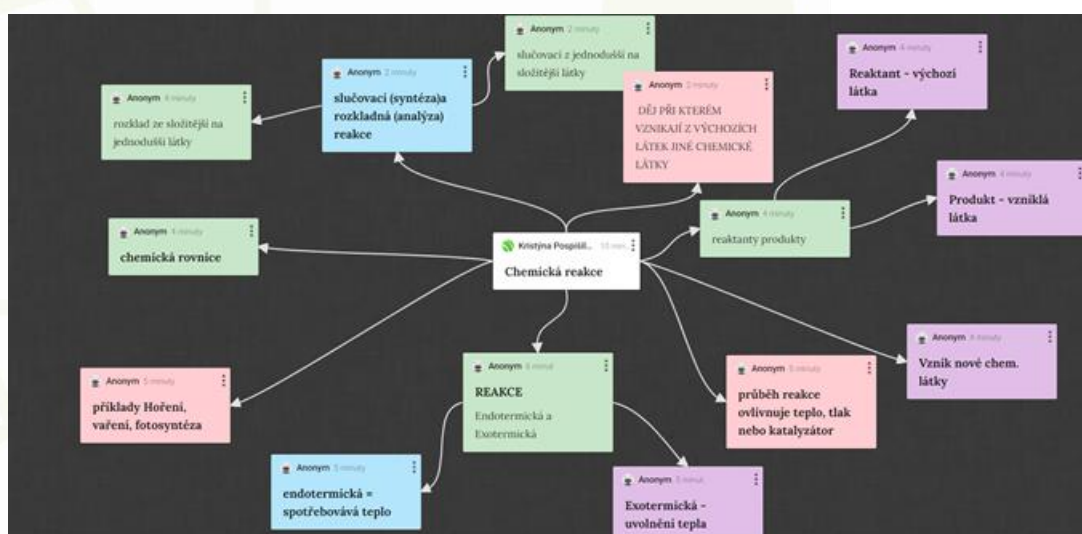


Abb. 1 Beispiel einer Konzeptkarte zum Thema CHEMISCHE REAKTIONEN (in Padlet)

Interdisziplinärer Ansatz in Kürze

Arten chemischer Reaktionen stehen nicht nur mit anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen in Verbindung, sondern auch mit anderen Bereichen. Redoxreaktionen und Elektrizität, komplexe Reaktionen und Pigmente, Additionsreaktionen und Lebensmittelherstellung, Säure-Base-Reaktionen und Volumenanalyse usw.

II. Vertiefung zum Thema Chemische Reaktion

Vertiefung

2.1 Reaktionszyklen in Verbindung mit MINT

Verschiedene Arten von Reaktionszyklen



oder



Dauer: 45 Minuten

Lernziele in Kürze

Chemische Reaktionen gehören zu den zentralen Themen des Chemieunterrichts auf allen Bildungsebenen. Die Alltagsrelevanz und auch die MINT-Relevanz lassen sich anhand der sogenannten experimentellen Zyklen gut veranschaulichen.

Beschreibung der Aktivität

Experimentelle Zyklen sind geschlossene Kreisläufe chemischer Reaktionen, bei denen verschiedene Arten von Umwandlungen chemischer Substanzen stattfinden und der Ausgangsstoff auch das Endprodukt des Zyklus ist. Dieser Umstand verdeutlicht die Zusammenhänge chemischer Umwandlungen, ihre Klassifizierung und damit das Verständnis ihrer Natur. Experimentelle Zyklen können sehr vielfältig sein. Sie können sich auf die Umwandlungen anorganischer Stoffe oder auf die Reaktionen organischer Verbindungen konzentrieren. In anderen Fällen handelt es sich um das Recycling von Abfällen oder um Simulationen von zyklischen Prozessen, die in der Natur ablaufen (z. B. der Wasserkreislauf in der Natur). Besonders häufig sind Kreisläufe, die auf der Umwandlung anorganischer Stoffe basieren. Der wohl bekannteste ist der Kupferkreislauf (Condike, 1975, Todd und Hobey, 1985, Walker et al., 2012), dessen in der pädagogischen Praxis am häufigsten verwendete Version in Abbildung 2 dargestellt ist.

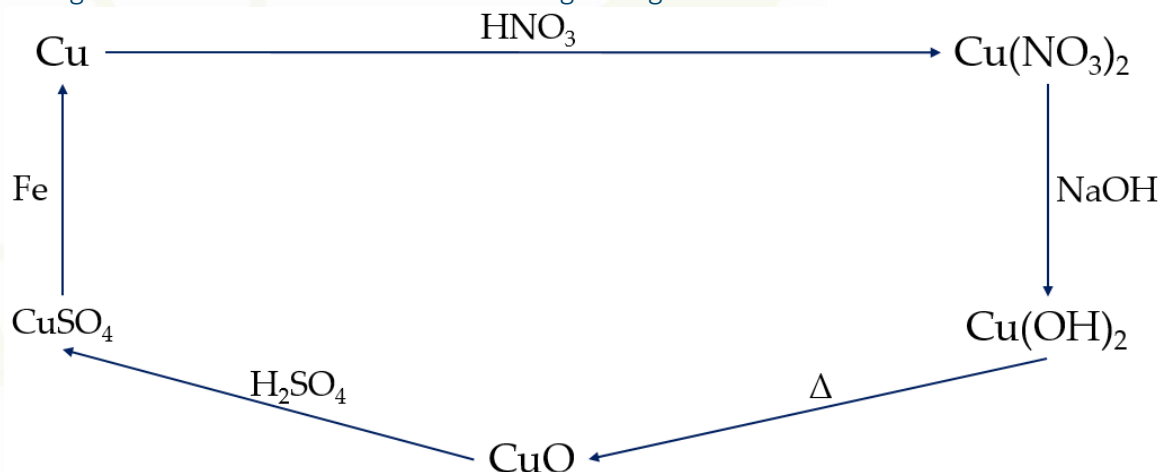


Abb. 2 Experimenteller Kupferkreislauf (Condike, 1975)

Der experimentelle Kupferkreislauf basiert auf die Farb- und Zustandsänderungen einzelner Chemikalien. Die Arbeit mit dem experimentellen Kreislaufschema kann auf der Beschreibung der einzelnen Schritte auf phänomenologischer Ebene, d. h. der Beschreibung der Produkte der einzelnen Schritte, und auf der Beschreibung der relevanten chemischen Reaktionen in den einzelnen Schritten, einschließlich der Charakterisierung der Reaktionsbedingungen und der Entwicklung und Quantifizierung chemischer Gleichungen oder ihrer Schemata (Verwendung von Bildern, Fotos usw.), basieren. Die Aufgaben im Zusammenhang mit experimentellen Zyklen sollten mit Informationsquellen wie Fachliteratur und relevanten Internetressourcen verknüpft werden (Recherche und Vergleich von Informationen zu verschiedenen Arten von Zyklen, an zyklischen Veränderungen beteiligten Chemikalien usw.).

Im oben dargestellten Beispiel ist der Ausgangsstoff Kupfer, ein rotbrauner Feststoff, der mit Salpetersäure zu einer dunkelblauen Lösung von Kupfernitrat reagiert. Diese reagiert mit Natriumhydroxid zu einem hellblauen Niederschlag von Kupferhydroxid. Kupferhydroxid wird beim Erhitzen in eine unlösliche schwarze Substanz, Kupferoxid, umgewandelt, die mit Schwefelsäure zu einer blauen Lösung von Kupfersulfat reagiert. Die Einwirkung von Eisen auf Kupfersulfat erzeugt Eisensulfat (grüne Lösung) und den rotbraunen Feststoff Kupfer, womit die Reaktionsreihe abgeschlossen ist. Der Zyklus stellt auch eine Reihe verschiedener chemischer Umwandlungen dar, wie Oxidations-Reduktions-Reaktionen, Fällungsreaktionen usw. In der Literatur finden wir verschiedene Beispiele für experimentelle Zyklen und Aufgaben für SchülerInnen, die wir anhand der genannten Aspekte entsprechend ihrem kognitiven Niveau formulieren können.

Interdisziplinärer Ansatz in Kürze

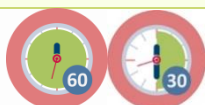
Experimentelle Zyklen, die auf verschiedenen Veränderungen von Stoffen basieren, d. h. auf verschiedenen chemischen Reaktionen, bieten viel Raum für einen interdisziplinären Ansatz. Sich nur auf die Chemie und vor allem auf die formale Chemie zu beschränken, die durch chemische Gleichungen und deren Stöchiometrie repräsentiert wird, ist für SchülerInnen nicht motivierend. Ein breiterer Ansatz, der verschiedene MINT-Verbindungen berücksichtigt, ist der richtige Weg, um das Interesse und die Bemühungen der Lernenden für das Verständnis des Themas zu steigern.

II. Vertiefung des Themas „Chemische Reaktion“

Vertiefung

2.2 Reaktionszyklen nicht nur im Labor

Umwandlung von Chemikalien auf der Basis von Calciumverbindungen



Dauer: 90 Minuten

Lernziele in Kürze

Experimentelle Aktivitäten sind ein wesentlicher Bestandteil des Chemieunterrichts sowie des gesamten MINT-Bereichs. Das Konzept der experimentellen Zyklen entspricht dem Trend, das Interesse der SchülerInnen an einem traditionellen und oft uninteressanten Thema zu steigern, nicht nur durch den rein komischen Effekt des Themas, sondern auch durch seinen interessanten Inhalt und Kontext. Einige sehr bekannte experimentelle Zyklen (z. B. Kupferzyklen) erfüllen jedoch hinsichtlich ihrer Durchführung im Schullabor nicht die

Anforderungen an die Arbeitssicherheit. Ein praktikabler experimenteller Zyklus scheint der Kalziumzyklus zu sein, der zwar hinsichtlich der Farbveränderungen und der Typologie der chemischen Reaktionen weniger günstig ist, aber andererseits die Sicherheitsanforderungen besser erfüllt und einen sehr engen Bezug zu praktischen Anwendungen (Bau- und Konstruktionsmaterialien) hat.

Beschreibung der Aktivität

Obwohl die in Kapitel 2.1 beschriebenen Versuchszyklen mit Kupfer hinsichtlich der Variabilität und der Beschreibungsmöglichkeiten chemischer Reaktionen die Anforderungen an einen schulischen Chemieversuch erfüllen, ist die Situation hinsichtlich der Sicherheitsanforderungen weniger günstig. Aus diesen Gründen kann der Versuchszyklus mit Kupfer durch den Versuchszyklus mit Calcium ersetzt werden, der zwar hinsichtlich der Farbveränderungen und auch hinsichtlich der Typologie der chemischen Reaktionen weniger günstig ist, aber die Sicherheitsanforderungen für den Einsatz im Unterricht besser erfüllt. Informationen zum experimentellen Kalziumkreislauf finden sich im Allgemeinen in verschiedenen Zusammenhängen. So sind beispielsweise der Kalziumkreislauf in der Natur (Duesing, 1985) oder der Prozess des Kalkbrennen, Kalklöschung und Mörtelverfestigung in verschiedenen Formen (Nuffield Foundation & Royal Society of Chemistry, 2015) bekannt, darunter auch praktische Zusammenhänge insbesondere im Bauwesen und in der Architektur. Für den Schulunterricht können wir einen experimentellen Kalziumkreislauf entwerfen, der auf chemischen Umwandlungen basiert, die mit Zustandsänderungen einhergehen – feste weiße Substanzen und farblose Lösungen (Kolar et al., 2018).

Der experimentelle Kreislauf umfasst verschiedene Arten von Reaktionen, die die chemischen Eigenschaften von Calciumverbindungen darstellen, und zeigt die Wechselbeziehungen zwischen chemischen Umwandlungen, die für dieses Element und andere Elemente derselben Gruppe (z. B. Magnesium) charakteristisch sind. In diesem Zusammenhang schlagen wir vor, den in Abbildung 3 dargestellten Kreislauf umzusetzen. Es handelt sich um einen Kreislauf, der aus vier Teilschritten besteht:

1. thermische Zersetzung von Calciumcarbonat,
2. Reaktion von Calciumoxid mit Wasser,
3. Reaktion von Calciumhydroxid mit Salzsäure,
4. Reaktion von Calciumchlorid mit Natriumcarbonat.

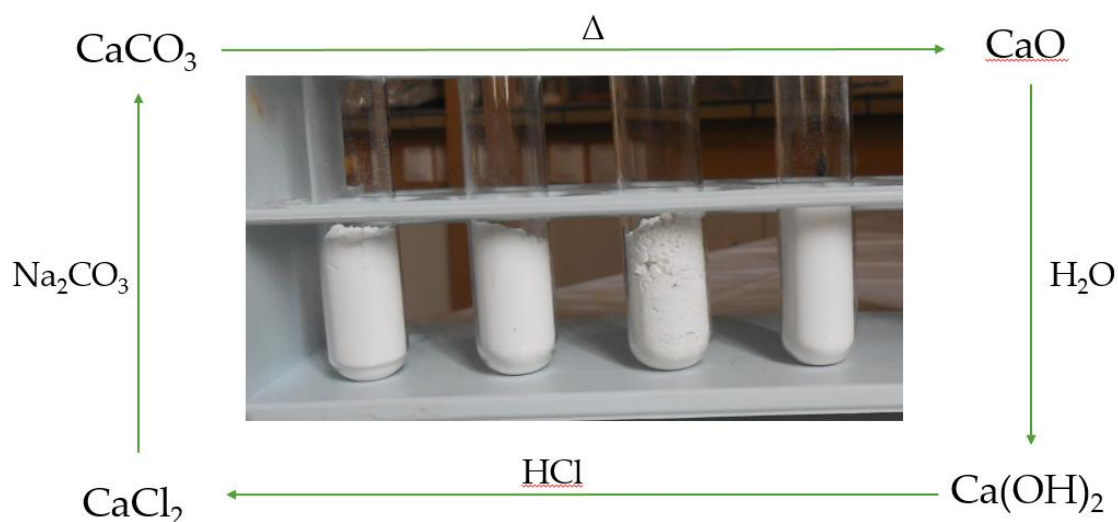


Abb. 3 Experimenteller Kalziumkreislauf (von links: Kalziumkarbonat, Kalziumoxid, Kalziumhydroxid, Kalziumchlorid)

Die ersten beiden Reaktionen stellen chemische Zersetzung und chemische Verbindung dar, die nächste ist eine Säure-Base-Reaktion und die letzte ist eine Fällungsreaktion, die zu einem Produkt führt, das mit dem Ausgangsstoff des Kreislaufs identisch ist. Der Kreislauf stellt somit die wichtigsten Grundtypen von Reaktionen anorganischer Stoffe dar. Die tatsächliche Durchführung der einzelnen Reaktionen ist mit grundlegender Chemieausstattung sogar in Grundschulen und mit handelsüblichen Chemikalien möglich. Die teilweise Zersetzung von Calciumcarbonat oder die geringe Löslichkeit von Calciumhydroxid in Wasser sollten beispielsweise bei der Durchführung einer Reaktionsreihe berücksichtigt werden, was auch zu kreativen Diskussionen anregen kann. Einfachere Varianten, die sich aus dem vorherigen Kreislauf ableiten lassen, sind in Abbildung 4 dargestellt, die zwei Kreisläufe zeigt.

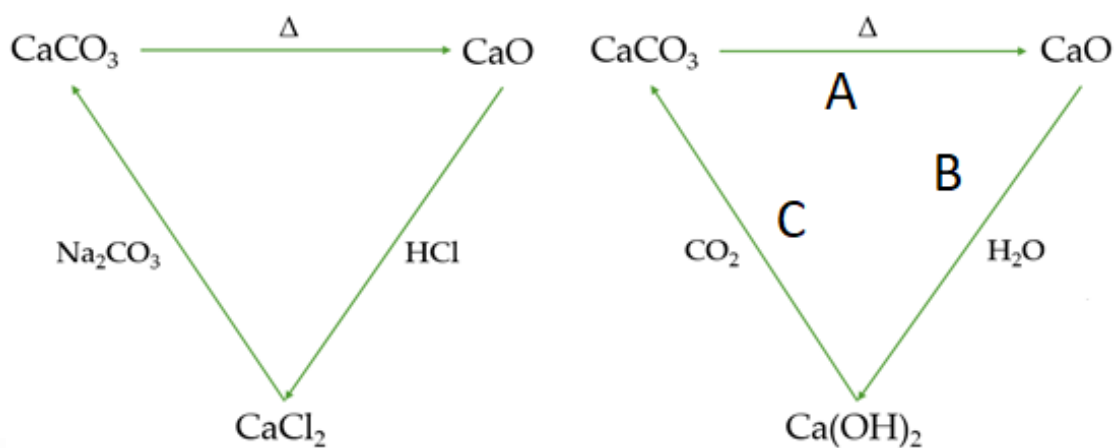


Abb. 4 Alternativen zum Grundzyklus – Calcium

Der erste zeigt eine Reihe von Reaktionen: thermische Zersetzung von Calciumcarbonat – Reaktion von Calciumoxid mit Salzsäure – Reaktion von Calciumchlorid mit Natriumcarbonat. Dies ist ein klassisches Verfahren zur Umwandlung von Kalkstein in reines Calciumcarbonat (Herstellung von reinem Calciumcarbonat für die Kosmetik-, Lebensmittel- und Papierindustrie). Der zweite Zyklus (thermische Zersetzung von Calciumcarbonat, Reaktion von Calciumoxid mit Wasser und Reaktion von Calciumhydroxid mit Kohlendioxid) konzentriert sich auf ein bekanntes Thema – das Brennen von Kalkstein (A), das Löschen von Kalk (B) und das Erstarren von Mörtel (C). Jede Reaktion wird von einer Reihe von Tests begleitet, um das Vorhandensein von Ausgangsstoffen und Produkten im Reaktionsgemisch nachzuweisen.

Der Zyklus auf der rechten Seite von Abbildung 4 steht in direktem Zusammenhang mit verschiedenen Baumaterialien, und es werden Vorschläge für deren Verwendung im projektbasierten Lernen gemacht. So können beispielsweise verschiedene Materialien aus Beton oder Mörtel hergestellt werden, die im Schulalltag oder in der Umgebung der Schule verwendet werden können (siehe Abbildung 5).



Abb. 5 Schulprojekt zur Verbesserung des Schulgartens unter Verwendung von Betonmöbeln für den Außenbereich

(Quelle: <https://www.tzb-info.cz/rozhovory-komentare/16072-betonove-designove-stoly-ve-skolni-zahrade-vznikly-diky-iniciative-rodicu>)

Interdisziplinärer Ansatz in Kürze

Experimentelle Aktivitäten im Zusammenhang mit dem Kalziumkreislauf konzentrieren sich auf interdisziplinäre Verbindungen, vor allem in Projektanwendungen (Betonmöbel für den Außenbereich, Betonkunstwerke, Mörtelprodukte, Analyse und Verwendung von (intelligenten) Baumaterialien usw.).

III. Anwendung des Themas „Chemische Reaktionen“

Anwendungen

3.1 Thermochemie

Ist Ihnen kalt? Wärmen Sie sich auf



Dauer: 45 Minuten

Lernziele in Kürze

Das Thema dieser Aktivität steht im Zusammenhang mit dem Wärmehaushalt chemischer Reaktionen. Es enthält Informationen zu Produkten, z. B. „Handwärmern“, die einige alltägliche Aktivitäten erleichtern, und bei der Überwindung von Gesundheitsproblemen, in der Rehabilitation, beim Sport usw. helfen.

Beschreibung der Aktivität

Materialien mit der Bezeichnung „chemische Wärmer“, die immer beliebter werden, deren Aufbau und Inhalt den AnwenderInnen jedoch nicht bekannt sind, lassen sich in zwei Gruppen einteilen: reversible Wärmer und irreversible Wärmer. Die erste Gruppe enthält sogenannte „Superkühlgele“, die zweite Gruppe funktioniert meist nach dem Prinzip der exothermen Eisenoxidation oder der exothermen Hydratation einiger Salze, z. B. der stark exothermen Hydratation von gebranntem CaCl_2 , das z. B. in „Getränkeheizern“ namens „Caldo Caldo“ verwendet wird (Abbildung 6). Es handelt sich um einen Aluminiumbeutel mit einem Getränk, z. B. Kaffee, der in einen Plastikbecher gestellt wird. Der Raum zwischen dem Beutel und dem Becher ist mit CaCl_2 und Wasser gefüllt. Nach Aktivierung des Heizmechanismus, d. h. nachdem CaCl_2 und Wasser durch Löcher in der Plastikfolie miteinander in Kontakt gebracht wurden, wird das Getränk heiß. Das gleiche Prinzip wird bei „Freddo Freddo“-Produkten verwendet, die die starke endotherme Reaktion von $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ und Wasser als Kühlmechanismus nutzen.

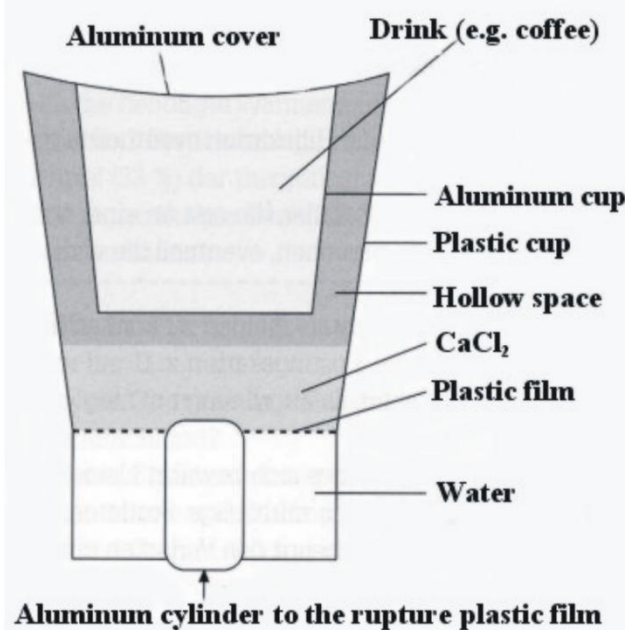


Abb. 6 Prinzip des „chemischen Wärmers“ Caldo Caldo

(Quelle: <https://enviroexperiment.zcu.cz/chemie-2-stupen-zs/horky-led>)

Der Vorschlag für die Aufgabe/das kleine Projekt ermöglicht es den Studierenden:

- zu sehen, wie „chemische Wärmer“ im Alltag eingesetzt werden können,
- durch eigene Aktivitäten Informationen über „chemische Wärmer“ zu sammeln, d. h. über ihre Funktionsweise, ihre Herstellung, ihre Verfügbarkeit auf dem Markt sowie ihre Vor- und Nachteile,
- die Funktionsweise chemischer Wärmer in Experimenten zu entdecken,
- aktiv an der Lösung von Problemen mitzuarbeiten,
- ein eigenes Produkt auf der Grundlage eines „chemischen Wärmers“ herzustellen.

Die Arbeit an dem Projekt ist in der Regel in drei Teile gegliedert: den theoretischen, den experimentellen und den präsentativen Teil.

Interdisziplinärer Ansatz in Kürze

Das Schulprojekt zum Thema „chemische Wärmer“ stellt einen direkten Bezug zwischen naturwissenschaftlich-technischer Bildung und dem Alltag her. Diese Art von Projekt trägt zur Umsetzung sogenannter dynamischer Punkte des Lehrplans bei, d. h. neuer Technologien und neuer Prozesse, die im Alltag zum Einsatz kommen.

III. Anwendung des Themas „Chemische Reaktionen“

Anwendung

3.2 Neue Materialien

Wie kann man Materialien mit bestimmten Eigenschaften herstellen?



Dauer: 45 Minuten

Lernziele in Kürze

Der MINT-gerechte Weg, chemische Reaktionen zu vermitteln, besteht darin, sie praktisch zu zeigen und den Lernenden je nach Möglichkeit die Reaktionen selbst erforschen zu lassen. Eine der wichtigsten Fragen zu den verwendeten Materialien betrifft deren Eigenschaften. Praktische Aktivitäten im Zusammenhang mit chemischen Reaktionen können den Lernenden diese Erfahrungen vermitteln. Die Studierenden definieren Kriterien und Einschränkungen für die Herstellung eines neuen Materials als Teil des technischen Prozesses, suchen nach Veränderungen der Eigenschaften, um festzustellen, ob eine chemische Reaktion stattfindet und eine neue Substanz entsteht, und lernen, dass chemische Reaktionen neue Materialien hervorbringen.

Beschreibung der Aktivität

Die Herstellung neuer Materialien mit bestimmten Eigenschaften beinhaltet chemische Reaktionen auf Grundlage verschiedener Ausgangsstoffe. Ein geeignetes lustiges Beispiel ist der sogenannte Schleim, der oft in unterhaltsamen Chemieshows zu finden ist. Die unterschiedlichen Eigenschaften von Schleim erfordern von Lernenden, dass sie das ingenieurwissenschaftliche Denken und den Entwurfsprozess anwenden, um ihr Schleimprodukt zu planen, herzustellen und zu testen. Sie müssen überlegen und entscheiden, welche Eigenschaften ihr Schleim haben soll, und dann experimentieren, um den am besten geeigneten Herstellungsprozess (Rezept) zu finden.

Die Aktivität beginnt mit der Festlegung eines geeigneten Verfahrens zur Herstellung des Schleims (einige Lernende haben möglicherweise bereits Erfahrung mit der Herstellung von Schleim). Es gibt bekannte Verfahren, bei denen sogenannter „weißer Schulkleber“ verwendet wird, oder es können auch Mehl oder andere Substanzen verwendet werden. Jedes Verfahren, das am besten in Gruppen durchgeführt wird, wird mit der Lehrkraft besprochen, um die Sicherheit und Verfügbarkeit der erforderlichen Ausgangsmaterialien zu gewährleisten. Der chemische Grundsatz der Schleimherstellung wird ebenfalls erläutert (Vernetzung von Polymeren).

Zunächst kann das Verfahren zur Herstellung des Schleims variiert werden, um unterschiedliche Schleimprodukte zu erhalten. Verwenden Sie beispielsweise eine größere oder kleinere Menge eines der Ausgangsmaterialien (z.B. Kontaktlinsenflüssigkeit, wenn ein Verfahren verwendet wird, bei dem diese zum Einsatz kommt). Ein sogenannter „flauschiger“ Schleim kann beispielsweise hergestellt werden, indem anstelle von Wasser eine entsprechende Menge Rasierschaum verwendet wird. Die nächsten Schritte konzentrieren sich auf die Herstellung von Schleim mit bestimmten Eigenschaften. Dies kann beispielsweise Folgendes sein: schimmernder Schleim (Zugabe von Glitzer), magnetischer Schleim (durch Zugabe von Eisenspänen), leuchtender Schleim (durch Zugabe von Leuchtfarbe), Schleim, der je nach Temperaturwechsel seine Farbe ändert (durch Zugabe von thermochromem Pigment), im Dunkeln leuchtender Schleim (durch Zugabe von z. B. Tonic-Drink), Schleim, der auf den pH-Wert der Umgebung reagiert (durch Zugabe eines Säure-Base-Indikators, z. B. Rotkohlsaft) usw.



Abb. 7 Im Rahmen eines Projekts in einer Grundschule hergestellter Schleim
(Quelle: <https://staryweb.zsnizbor.cz/clanky/art/58/34/SLIZ-ve-skole>)

Interdisziplinärer Ansatz in Kürze

Die Herstellung von Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften ist eines der Hauptziele der Ingenieurstätigkeit oder des ingenieurwissenschaftlichen Denkens. Im Zusammenhang mit Phänomenen ist die chemische Reaktion ein wichtiges Beispiel für die MINT-Bildung. Dabei müssen chemische Reaktionen, die physikalischen Bedingungen für ihre Realisierung und verschiedene weitere Zusammenhänge wie biologische, mathematische oder ökologische Aspekte, berücksichtigt werden.

III. Anwendung des Themas „Chemische Reaktionen“

Anwendung

3.3 Die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen

Schneller oder langsamer ist die Frage



Dauer: 45 Minuten

Lernziele in Kürze

Eine der wichtigsten gemeinsamen Eigenschaften chemischer Reaktionen ist, dass sie mit einer bestimmten Geschwindigkeit ablaufen. Es ist wichtig zu verstehen, wie bestimmte Bedingungen die Reaktionsgeschwindigkeit beeinflussen und wie man die Steuerung der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit im Alltag nutzen kann.

Beschreibung der Aktivität

Wir kennen Reaktionen, die relativ langsam ablaufen, wie beispielsweise das Aushärten von Beton oder Zementmörtel (siehe Kapitel 2.2). Andere laufen sehr schnell ab, wie z. B. chemische Wärmemittel (siehe Kapitel 3.1), sogar als Explosionen. Zwischen diesen Extremfällen gibt es viele Reaktionen, die mit unterschiedlicher Geschwindigkeit ablaufen. Die Herausforderung für die Technik besteht daher darin, Mittel zu finden, um die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen zu beeinflussen. Zum Beispiel, wie man die Qualität von Lebensmitteln sicherstellt, dass sie nicht schnell verderben, oder umgekehrt, wie man dafür sorgt, dass Farbe schnell genug trocknet usw.

Die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion wird durch eine Reihe verschiedener Faktoren beeinflusst, insbesondere durch die Konzentration der beteiligten Reaktanten, die Oberfläche der Ausgangsstoffe, die Temperatur des Reaktionsgemisches und den Einsatz von Katalysatoren. Im Allgemeinen führt eine Erhöhung der Konzentration der Reaktanten in Lösungen, eine Vergrößerung ihrer Oberfläche bei Festphasenreaktionen oder eine Erhöhung der Temperatur des Reaktionssystems zu einer Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit.

Die erste Aufgabe kann ein Brainstorming sein, das darauf abzielt, Aussagen über die Bedingungen der um uns herum ablaufenden Prozesse zu treffen. Die Lernenden formulieren Aussagen in vier Bereichen (Spalten an der Tafel oder auf Papier), nämlich die Auswirkung der Temperatur (z. B. Abkühlung von Lebensmitteln, Aufgehen von Teig beim Erhitzen usw.), die Auswirkung der Oberfläche der Reaktanten (z. B. die Auswirkung der Größe der Reaktanten (Verbrennen von Eisenspänen, Explosion von Staubpartikeln usw.)), die Auswirkung der Konzentration der Reaktanten (z. B. Reaktion von konzentriertem und verdünntem Essig mit Kalkstein usw.) und die Auswirkung des Katalysators (z. B. Zersetzung von Wasserstoffperoxid, Funktion von Stabilisatoren in Lebensmitteln usw.). Die Aktivität kann in Gruppen in Zeitintervallen (Runden) durchgeführt werden, nach denen die Gruppen die von ihnen notierten Ergebnisse austauschen oder zu einem Ort wechseln, der sich mit einer anderen Auswirkung beschäftigt, an dem die formulierten Aussagen der vorherigen Gruppe verbleiben. Eine weitere geeignete Aktivität ist die Laborarbeit. Es besteht die Möglichkeit, die Lernenden in Gruppen arbeiten zu lassen, um ein Thema auszuwählen, das den Einfluss auf die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion veranschaulicht. Sie besprechen zunächst ihre Vorschläge mit der Lehrkraft und bereiten dann die Durchführung eines Laborversuchs vor und beraten sich darüber. Wenn nicht genügend Zeit zur Verfügung steht oder die Lehrkraft nur begrenzte Möglichkeiten

zur Durchführung der experimentellen Aktivitäten hat, können bekannte Experimente durchgeführt werden, um einen Einfluss auf die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion zu demonstrieren. Ein traditionelles Experiment ist die Reaktion von z. B. Säuren (HCl , CH_3COOH) mit einem Metall oder Salz (z. B. Zn , Kalkstein). Dies kann beispielsweise durch Beobachtung des Verlaufs chemischer Reaktionen in zwei Kristallisations- oder Petrischalen erfolgen. In jede Schale werden 20 ml einer 5%igen HCl -Lösung gegossen. Anschließend werden zwei etwa gleich große Zinkgranulate oder Kalksteinstücke in beide Schalen gegeben. Man kann den Einfluss der Temperatur (unterschiedliche Temperatur der Säurelösung), den Einfluss der Oberflächengröße des Reaktanten (ein Stück Kalkstein und dasselbe Stück in kleine Stücke zerkleinert oder das gleiche Gewicht an Zinkgranulat und Zinkpulver) oder den Einfluss des Hemmstoffs (zwei kleine Teelöffel Urotropin in eine der Schalen geben und mit einem Glasstab umrühren) beobachten. Jedes Ergebnis kann dann in den Bezug auf den Alltag und den verwendeten Technologien diskutiert werden. Eine einfache Möglichkeit besteht zudem darin, die Bedingungen der chemischen Reaktion von Essig mit Backpulver zu variieren und das entstehende Kohlendioxid zu beobachten (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9).

Technische Aspekte der Gasbildung bei chemischen Reaktionen könnten mit Brausetabletten (z. B. Vitaminen) untersucht werden. Die Aufgabe könnte darin bestehen, mit Hilfe einer Verpackungstube, Brausetabletten und Wasser eine „Rakete“ zu bauen (siehe Abbildung 10). Die Planung, Vorbereitung, Durchführung und Kontextualisierung dieser Aktivität kann als „Miniprojekt“ im Freien umgesetzt werden.

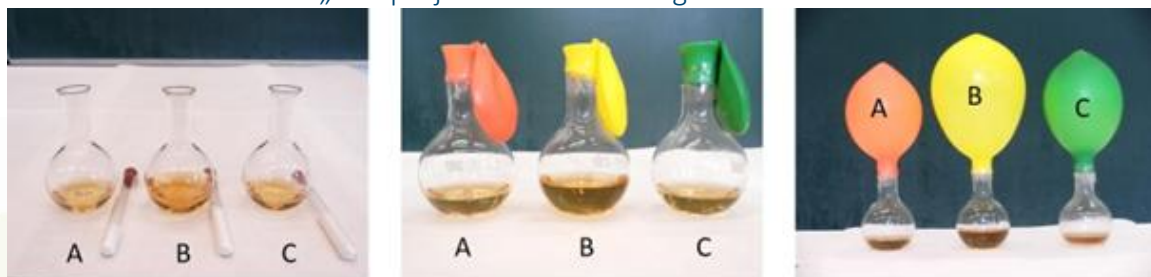


Abb. 8 Reaktion von Backpulver und Essig (Rychtera, Bílek et al., 2019)
(A: 2,1 g/40 ml; B: 4,2 g/40 ml; C: 4,2 g/20 ml)



Abb. 9 Reaktion von Backpulver und Essig – eine Alternative zur Beobachtung der Produktmenge (von Kohlendioxid) (Rychtera, Bílek et al., 2019)



Abb. 10 „Vitaminrakete“ in der Videodatenbank eBEDOX
(Quelle: <https://ebedox.cz/vitaminova-raketa/>)

Interdisziplinärer Ansatz in Kürze

Prozessbedingungen und deren Optimierung sind immer eine Frage für viele Disziplinen, bei der nicht nur grundsätzliche Aspekte, sondern auch technologische, wirtschaftliche oder ökologische Aspekte berücksichtigt werden müssen. Der Einfluss von Reaktionsbedingungen auf die Reaktionsgeschwindigkeit stellt ein besonders geeignetes Beispiel dar, das im Kontext eines interdisziplinären Ansatzes herangezogen werden kann.



Materialien und Ressourcen



Präsentation (pptx). Chemische Reaktionen



Arbeitsblätter. Chemische Reaktionen



Lesematerial. 15+ STEM-Lektionen und Aktivitäten zum Unterrichten chemischer Reaktionen (<https://www.sciencebuddies.org/blog/teach-chemical-reactions>)



Lesematerial. Grundlegendes: Chemische Reaktion (<https://www.stem.org.uk/best/chemistry-earth-science/big-idea-chemical-reactions>)



Lesematerial. 8 praktische Experimente, um Kindern chemische Reaktionen näherzubringen (<https://owlcation.com/stem/hands-on-experiments-to-learn-about-chemistry>)



Digitale Medien – Video. MINT – chemische Reaktionen (<https://cz.pinterest.com/lauraantolin/stem-chemical-reactions/>)



Bewertung

Die Bewertung der einzelnen Aktivitäten kann flexibel an deren Inhalt und Durchführungsbedingungen angepasst werden. Die Hauptempfehlung ist eine Portfoliobewertung, die auf der Sammlung von Dokumenten oder Artefakten basiert, die in einzelnen Aktivitäten erstellt wurden, und deren Präsentation im abschließenden Kolloquium. Das Portfolio kann auch eine sogenannte „Zertifizierung“ der in einzelnen Aktivitäten erworbenen Kenntnisse durch Interviews oder Tests, eine „Zertifizierung“ der mit manuellen Tätigkeiten im Labor verbundenen Fähigkeiten und eine „Zertifizierung“ der Einstellungen zum Thema, die durch Interviews oder Umfragen nach den einzelnen Aktivitäten ermittelt wurden, umfassen. Die Form der Zertifizierung kann unterschiedlich sein, von schriftlichen Zertifikaten über eine „Entwicklungswand“ bis hin zur Sammlung von Coupons oder verschiedenen materiellen Objekten.



Referenzen

COM (2019). Key Competences for Life-Long Learning. Luxembourg: Publications Office for the European Union.

Condike, G. F. (1975). Near 100% student yields with the "cycle of copper reactions" experiment. *Journal of Chemical Education*, 52(9): 615.

Duesing, B. (1985). *The calcium cycle. Skeletal Materials-Biomineralization* [online]. Yale New Haven Teachers Institute, © 2018, 7 [cit. 20. 8. 2019].
<http://teachersinstitute.yale.edu/curriculum/units/1985/7/85.07.08.x.html>

Kolář, K. (1994). Experimentální cykly a výuka chemie. In *Sborník přednášek IV. mezinárodního semináře o vyučování chemii* (pp. 60–62). Hradec Králové: VŠP.

Kolář, K., Bílek, M., Machková, V., Rychtera, J., & Chroustová, K. (2018). Experimental Cycles as Alternative Approach to Teaching the Topic Chemical Reactions. In *Miecznikowski, K. (Ed.). 14th European Conference on Research in Chemical Education „Educational innovations and teacher needs” - Book of Abstracts* (pp. 7–8). Warsaw: Warsaw University.

MŠMT (2017). *Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání* [online]. Praha: MŠMT [cit. 20. 8. 2019]. http://www.msmt.cz/file/43792_1_1/

Nuffield Foundation & Royal Society of Chemistry. (2015). *Thermal Decomposition of Calcium Carbonate. RSC – Advancing the Chemical Sciences* [online]. [cit. 20. 8. 2019].
<https://rsc.li/2DAZnH4>

Rychtera, J., Bílek, M. et al. (2018). Která jsou klíčová, kritická a dynamická místa počáteční výuky chemie v České republice? *ARNICA – Acta Rerum Naturalium Didactica*, 8(1): 35–44.

Rychtera, J., Bílek, M. et al. (2019). *Kritická místa kurikula chemie na 2. stupni základní školy. I.* Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni.

Todd, D. & Hobey, W., D. 1985. An Improvement in the Classical Copper Cycle Experiment. *Journal of Chemical Education*, 62(2): 177.

Vondrová, N., Rendl, M. a kol. (2015). *Kritická místa matematiky základní školy v řešení žáků*. Praha: Karolinum, 464 pp.

Walker, M., Noll, M., Panders, J., Winnebeck, K., Courtney, M., E. (2012). *Types of Reactions: The Copper Cycle* [online]. New York State Pollution Prevention Institute, Potsdam [cit. 20. 8. 2019].
https://hww.uvlsrpc.org/files/2613/7218/4212/NYSP2I_Green_Chem_Module_Types_of_Reactions_Copper_Cycle.pdf