

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Die Klimaproblematik im interdisziplinären Unterricht von Chemie und Biologie
unter Gesichtspunkten einer naturwissenschaftlichen Grundbildung

verfasst von | submitted by

Konstantin Prindl BSc BEd MSc

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Education (MEd)

Wien | Vienna, 2025

Studienkennzahl lt. Studienblatt |
Degree programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 199 502 504 02

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach
Biologie und Umweltbildung Unterrichtsfach
Chemie

Betreut von | Supervisor:

Hon.-Prof. Dr. Michael Alfred Anton

Danksagung

Besonderen Dank möchte ich an meine Familie und Freunden aussprechen, welche mich während des gesamten Studiums, in jeder Phase der Masterarbeit und in allen Lebenslagen unterstützt hat.

An dieser Stelle möchte ich mich auch sehr herzlich bei meinem Betreuer Prof. Dr. Michael Anton für die Betreuung der Arbeit, seine außerordentliche Hilfsbereitschaft und Kompetenz bedanken.

Zum Schluss möchte ich mich auch bei meinen Kolleg*innen an der Schule bedanken, welche mich beim Einstieg in den Alltag des Lehrberufs tatkräftig unterstützt haben.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
2.	Theorielegung.....	3
2.1.	Das Klima	3
2.2.	Der Klimawandel	5
2.3.	Der Treibhauseffekt.....	8
2.4.	Der anthropogen verursachte Treibhauseffekt	10
2.4.1.	Rückkopplungseffekte im globalen Klimasystem.....	11
2.4.2.	Anthropogene Einflüsse auf das heutige Klima	13
2.5.	Die Auswirkungen des Klimawandels.....	15
2.5.1.	Globale Auswirkungen	15
2.5.2.	Auswirkungen auf Österreich.....	17
2.6.	Die Versauerung der Ozeane	19
2.6.1.	Fachliche Grundlagen der Ozeanversauerung	19
2.6.2.	Auswirkungen der Ozeanversauerung	21
2.7.	Der Klimawandel im Unterricht	22
2.7.1.	Der Lehrplan	24
2.7.2.	Schülervorstellungen zum Klimawandel	29
2.7.3.	Die naturwissenschaftliche Grundbildung / Scientific Literacy	31
2.7.4.	Das naturwissenschaftliche Kompetenzmodell	34
2.7.5.	Das Modell des vollständigen Wissens	36
2.7.6.	Die didaktische Rekonstruktion	37
2.7.7.	Disziplinarität, Interdisziplinarität und Transdisziplinarität	39
2.7.8.	Anwendung im Unterricht.....	40
2.8.	Ziel der Arbeit und Fragestellungen	42

3. Planung einer Unterrichtseinheit zum Klimawandel mit interdisziplinären Schwerpunkten	44
4. Untersuchungsdesign	47
4.1. Aufbau der Fragebögen.....	47
4.2. Ergebnisse der Fragebögen	49
5. Auswertung	51
5.1. Werden die im Unterrichtskonzept definierten Lernziele erreicht?	51
5.2. Wird im Unterrichtskonzept Fachwissen mit Funktions- und Konditionswissen verknüpft und bei den Schüler*innen das Anwenden von Fachwissen außerhalb von Chemie gefördert?	54
5.3. Werden in dem Konzept die Perspektiven der Lernenden ausreichend berücksichtigt?	57
5.4. Anmerkungen der Expert*innen zum Unterrichtskonzept.....	59
6. Fazit	61
7. Anhang.....	64
7.1. Unterrichtsplanung – Reaktion von Metall- und Nichtmetalloxiden mit Wasser ...	64
7.2. Unterrichtsplanung – Verbrennung von fossilen Brennstoffen.....	67
7.3. Unterrichtsplanung – Mystery zu Klimawandel	70
7.4. Mystery zu Ozeanversauerung.....	71
8. Appendix.....	78
8.1. Beispielhafte Abbildungen der Tafelbilder.....	78
8.2. Fragebogen für das Expertenrating.....	79
Literaturverzeichnis.....	84
Abbildungsverzeichnis.....	98
Tabellenverzeichnis	99
Zusammenfassung.....	100
Abstract	101

1. Einleitung

Der Begriff Klimawandel ist in keinem Bereich in der heutigen Welt mehr wegzudenken. Das beinhaltet jegliche Aspekte des heutigen Lebens und der Gesellschaft: die Politik, die Wirtschaft, die Umwelt und natürlich auch die Bildung.

In der Wissenschaft wurde schon 1938 durch (Callendar, S. 231–232) nachgewiesen, dass die künstliche Emission von CO₂ in die Atmosphäre für eine Erhöhung der globalen Durchschnittstemperaturen verantwortlich ist. Der Ausdruck des Klimawandels ist jedoch erst in den letzten Jahren in die Medien und in das gesellschaftliche Bewusstsein gelangt. Dies ist vor allem durch die *Fridays for Future* (FFF) Bewegung und deren regelmäßige Klimademos in vielen europäischen Städten geschehen.

Die Klimawandel-Thematik ist nicht nur politisch, gesellschaftlich und ökonomisch relevant, sondern hat meist auch für Schüler*innen eine unmittelbare Bedeutung, da die Auswirkungen des Klimawandels für diese oft persönlich spürbar sind. Zusätzlich werden Schüler*innen als jüngere Generation mit den Folgen des Klimawandels in Zukunft ungleich stärker zu kämpfen haben als ältere Generationen. Gerade an dieser Stelle soll es Schüler*innen aber auch ermöglicht werden, am gesellschaftlichen Diskurs teilzunehmen. Im Zuge des Diskurses über den Klimawandel treffen viele verschiedene Meinungen aufeinander. Zusätzlich dazu sind wir, als Personen die unterschiedliche digitale Medien konsumieren, mit einer Vielzahl von Informationen konfrontiert. Speziell bei digitalen Medien sind wir auch öfter mit Falschinformationen konfrontiert. Dadurch ist die Informationskultur heute unzuverlässig (Antos 2016, S. 297).

Die Vorbereitung zur Teilhabe am gesellschaftlichen Diskurs und an politischen Entscheidungen, um gesellschaftlich, ethisch und naturwissenschaftliche Entscheidungen treffen zu können, ist ein Ziel der Schule. Gerade im Zuge des Klimawandels bedarf es hierfür eines Wissens über die sog. *nature of science*. Das Ziel des Lehrplans in allen naturwissenschaftlichen Fächern ist es, die naturwissenschaftliche Grundbildung (*scientific literacy*) der Schüler*innen zu fördern, um ihnen dadurch die Grundlage für eine Beteiligung am gesellschaftlichen Diskurs zu bereiten und sie zu mündigen Bürgern zu machen.

Gerade die Komplexität der Klimaproblematik erfordert nicht nur Fachwissen aus den Bereichen Biologie, Chemie, Geografie, Meteorologie und Physik, sondern auch deren Anwendung in anderen Bereichen. Eine Teilhabe an politischen Prozessen erfordert deshalb - insbesondere bei dieser Thematik - eine fundierte fachliche Grundlage. Diese sollen Schüler*innen zum Teil schon in der Schule erwerben. In der Schule ist das Lernen für Schüler*innen in Fächer bzw. Disziplinen unterteilt, welche einerseits schulorganisatorisch zu verstehen sind, aber auch durch kognitive Grenzen eine Erleichterung für Schüler*innen beim Lernen darstellen sollen (Künzli 2019, S. 9). Diese Grenzen zwischen den Schulfächern sind jedoch nach Memmert gerade für das Lernen von vernetztem Wissen nicht förderlich (Memmert 1986, S. 12, 1997, S. 38).

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die naturwissenschaftliche Grundbildung (*scientific literacy*) im Rahmen des interdisziplinären Unterrichts zu fördern. Dabei wird in den Fächern Chemie und Biologie mithilfe eines Unterrichtskonzepts das Thema Klimawandel mit speziellem Fokus auf die Ozeanversauerung thematisiert.

Die Gliederung der Masterarbeit gestaltet sich wie folgt:

Im Anschluss an die Einleitung dient das Kapitel 2 der fachlichen Klärung des Begriffs Klima und Klimawandel, sowie dessen physikalischen und chemischen Ursachen. Hier werden auch die natürlichen und anthropogenen Ursachen, sowie die globalen und lokalen Folgen für die Umwelt und den Menschen erläutert. Diese werden sich im speziellen auf die Ozeanversauerung konzentrieren. Darüber hinaus dient dieses Kapitel auch der Einordnung der Unterrichtseinheit in den Lehrplan und einer Einführung in die didaktischen Theorien und Überlegungen. Die nachfolgenden Kapitel 3 und 4 beschreiben die Planung der Unterrichtseinheit und des empirischen Untersuchungsdesigns. Im Kapitel 5 folgt schlussendlich die Auswertung der Fragebögen.

2. Theorielegung

An dieser Stelle soll ein kurzer Überblick über die wichtigsten Fachbegriffe sowie das Klimasystem der Erde mit den wichtigsten Fakten zum Klimawandel gegeben werden.

2.1. Das Klima

Das Klima bezeichnet die Gesamtheit aller atmosphärischen Parameter oder Klimaelemente und die temporale Veränderung dieser Parameter über das Jahr. Die von der IPCC anerkannte Definition von Klima lautet:

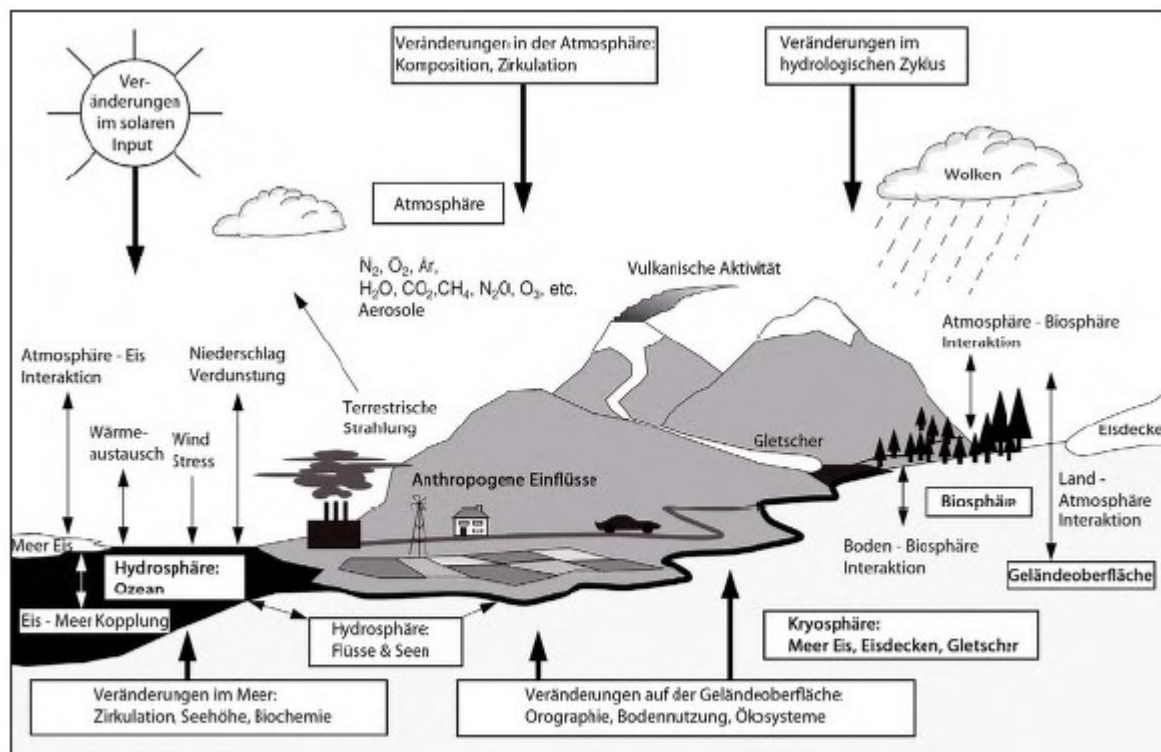
„Klima im engeren Sinne ist normalerweise definiert als das durchschnittliche Wetter, oder genauer als die statistische Beschreibung in Form von Durchschnitt und Variabilität relevanter Größen über eine Zeitspanne im Bereich von Monaten bis zu Tausenden oder Millionen von Jahren. Der klassische Zeitraum zur Mittelung dieser Variablen sind 30 Jahre, wie von der Weltorganisation für Meteorologie definiert. Die relevanten Größen sind zumeist Oberflächenvariablen wie Temperatur, Niederschlag und Wind. Klima im weiteren Sinne ist der Zustand, einschließlich einer statistischen Beschreibung, des Klimasystems“ (IPCC 2013/2014, Anhang S. 14)

Für ein besseres Verständnis des Klimasystems der Erde wird dieses in 5 Hauptkomponenten unterteilt: die Atmosphäre, die Hydrosphäre, die Kryosphäre, die Lithosphäre und die Biosphäre. Diese Komponenten befinden sich über verschiedene physikalische, chemische und biologische Prozesse natürlicherweise im ständigen Austausch miteinander (siehe Abb. 1).

Als Atmosphäre wird die Lufthülle der Erde bezeichnet. Die Atmosphäre selbst kann in weitere 5 Schichten, nämlich die Troposphäre, die Stratosphäre, die Mesosphäre, die Thermosphäre und die Exosphäre unterteilt werden. Der Übergang zwischen den Schichten ist aufgrund von Temperatur und vor allem Dichteunterschieden diskontinuierlich.

Während die Atmosphäre nur einen kleinen Teil der durch die Sonneneinstrahlung erwärmten Masse der Erde ausmacht, ist sie jedoch durch die Zusammensetzung aus Wasserdampf, Kohlendioxid und Aerosolen maßgeblich an der Regulation der Oberflächentemperatur der Erde durch den Treibhauseffekt beteiligt.

Die Hydrosphäre bezeichnet die Gesamtheit des auf der Erde befindlichen Wassers in den Ozeanen, Flüssen, Seen und im Grundwasser, sowie den Wasserdampf und Wassertropfen



Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Figure 1.1. Cambridge University Press

Abb. 1: Darstellung der Hauptkomponenten des Klimasystems der Erde und deren Einfluss aufeinander (exkl. Lithosphäre) (Haimberger et al. 2014).

in den Wolken. Aufgrund der hohen Wärmekapazität von Wasser kann die Hydrosphäre eine enorme Menge an Energie speichern, womit Temperaturschwankungen stark gedämpft werden. Wie auch die Atmosphäre, ist die Hydrosphäre für die Verteilung von Stoffen über große Distanzen zuständig.

Die Kryosphäre bezeichnet das gesamte Wasser der Erde, welches sich in fester Form befindet. Dazu zählen Gletscher, Schneedecken, Permafrostböden, Meereis und auch gefrorenes Wasser in Wolken. Sie wächst und schrumpft immer auf Kosten der Hydrosphäre und leistet einen großen Beitrag zum Reflexionsvermögen (Albedo) der Erde. Die Lithosphäre bezeichnet den festen, unbelebten Teil der Erde. Obwohl der Massenanteil enorm ist, ist die effektive Wärmekapazität nur sehr gering, da der Wärmetransport sehr langsam und nur in geringe Tiefen stattfindet. Die Lithosphäre bildet das größte Reservoir an Kohlenstoff, in Form von Carbonatgesteinen, Kohle, Erdgas und Erdöl. Durch natürliche Prozesse wird dieser Kohlenstoff allerdings nur in geringen Mengen freigesetzt.

Die Biosphäre bezeichnet die Flora und Fauna, also den belebten Teil der Erde, welcher sich in den 4 anderen Komponenten befindet. Auch der Mensch ist Teil der Biosphäre. Obwohl der Massenanteil der Biosphäre an der gesamten Erde sehr gering ist, leistet die Biosphäre

durch die Kontrolle von Stoffkreisläufen, wie dem Kohlenstoff- oder Stickstoffkreislauf, erhebliche Bedeutung für das globale Klima.

Alle diese 5 Komponenten sind zusätzlich miteinander durch Stoff- und Energiekreisläufe verbunden, welche fast ausschließlich von der Sonneneinstrahlung angetrieben werden. Zusätzlich zu diesen Komponenten dienen Klimaelemente als messbare Parameter der Atmosphäre. Dazu zählen die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit, der Luftdruck, die Dichte, die Windgeschwindigkeit und -richtung, die Niederschlagsart und -menge, die Sonnenscheindauer, die Bewölkung, die Sonneneinstrahlung und die Albedo.

Das Klima bezeichnet also die durchschnittlichen Veränderungen dieser 5 Hauptkomponenten und deren Wechselwirkungen miteinander, sowie deren Varianz über einen Zeitraum von einigen Monaten bis hin zu Millionen Jahren. Hier ist zu beachten, dass der Beobachtungszeitraum für die Messung der Parameter des Klimas von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) mit 30 Jahren festgesetzt ist. Dieser Zeitraum wird als Normalklimaperiode bezeichnet.

Zum Schluss muss noch eine wichtige Unterscheidung vorgenommen werden. Der Begriff Wetter ist keinesfalls mit Klima gleichzusetzen und beschreibt die momentane Gesamtheit aller atmosphärischen Parameter, beschränkt auf einen bestimmten Ort oder eine Region der Erde. Der Zeitrahmen in welchem von Wetter gesprochen wird, reicht von einigen Stunden bis hin zu maximal wenigen Tagen. An dieser Stelle ist auch noch der Begriff Witterung zu ergänzen, wobei dieser sich nur durch den Zeitrahmen unterscheidet, welcher hier von Tagen bis zu maximal einer Jahreszeit reicht.

2.2. Der Klimawandel

Der Begriff Klimawandel bezeichnet die durchschnittliche Veränderung der Klimaelemente über eine Normalklimaperiode hinaus. Diese Veränderungen sind für das globale Klima nicht neu, sondern fanden im Laufe der Erdgeschichte öfter statt und hatten größere Ausmaße als der heute beobachtete Klimawandel.

Erdgeschichtlich gesehen befinden wir uns derzeit in einer Eiszeit, welche vor 2,5 Millionen Jahren begonnen hat. Durch die Vereisung des antarktischen Kontinents und der Bildung von nordhemisphärischen Eisschilden kam es damals zu einer deutlichen Abkühlung des

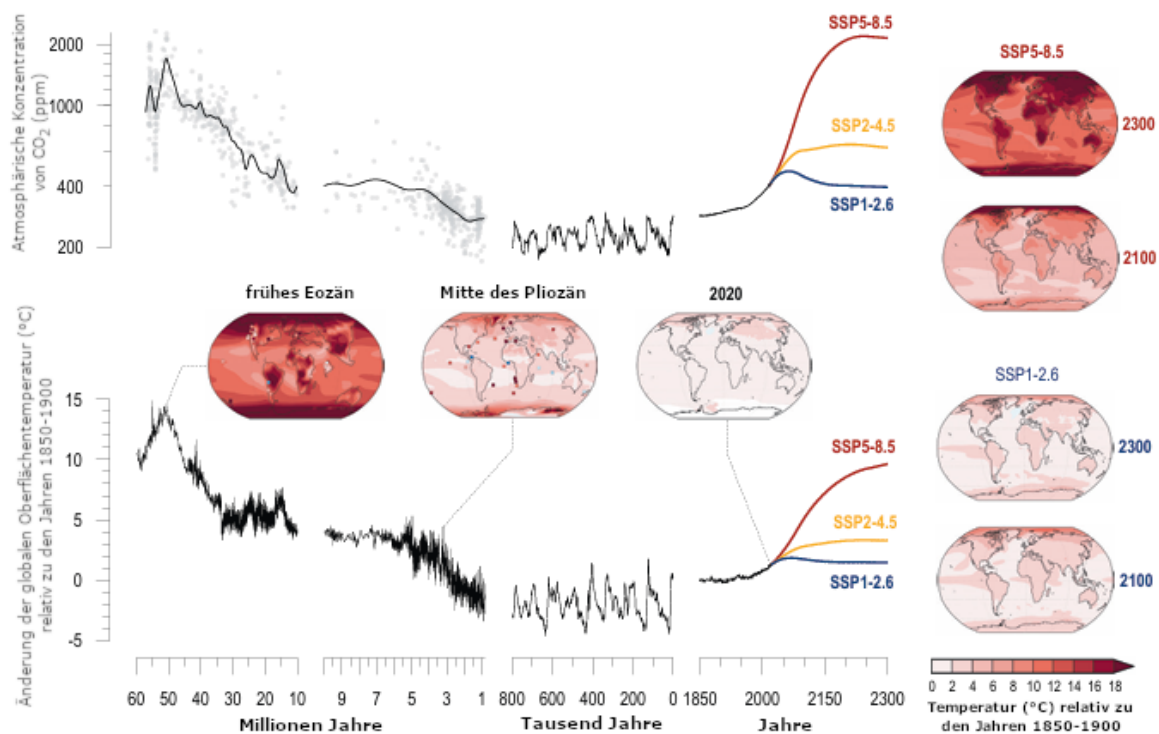


Abb. 2: Atmosphärische CO₂ Konzentration und mittlere globale Oberflächentemperatur in den letzten 60 Mio. Jahren mit Simulationen für die nächsten 300 Jahre (übersetzt aus Arias et al. 2021). Der Temperaturanstieg der letzten 100 Jahre ist sehr viel rascher als die Klimaveränderungen der letzten Millionen Jahre.

Klimas. In den letzten 2 Millionen Jahren haben sich Zyklen von langen Kaltzeiten und kürzeren Warmzeiten mit einer Periodizität von ca. 100 000 Jahren gebildet. Diese Klimaveränderungen sind vor allem auf die Schwankungen der Exzentrizität der Erdumlaufbahn und der Neigung der Rotationsachse der Erde zurückzuführen (Kromp-Kolb *et al.* 2014, S. 148).

Weitere natürliche Ursachen für die Veränderung des Klimas sind beispielsweise die Strahlungsaktivität der Sonne, wobei zyklische Schwankungen in der Sonnenfleckaktivität erforscht sind. Auch das Lichtspektrum der Sonne ist nicht konstant, so ist bspw. die UV-Strahlung während eines Sonnenfleckmaximums maximal erhöht (Kromp-Kolb *et al.* 2014, S. 148).

Auch in der jüngeren Erdgeschichte gab es mehrere Veränderungen des globalen Klimas, wobei einige ausgewählten Ereignisse in Tabelle 1 dargestellt sind. Verglichen mit den Klimaveränderungen der letzten Tausend Jahre ist der Temperaturanstieg seit 1850 jedoch sehr rasch. Zudem ist dieser Anstieg auch unter Berücksichtigung der natürlichen Schwankungen besonders, da er erstmals hauptsächlich durch menschliche Aktivitäten

verursacht wird (Kromp-Kolb *et al.* 2014, S. 150), welche vor allem den natürlichen Treibhauseffekt verstärken.

Zeitpunkt	Klimaereignis	Auslöser
vor ca. 56 Mio. Jahre	Paleozän-Eozän Thermal Maximum: Globaler Temperaturanstieg um 5 – 8°C mit einer Dauer von 200 000 Jahren.	Vulkanische Aktivität führte zum Ausstoß an mehreren Gigatonnen CO ₂ und Methan (DeConto <i>et al.</i> 2012; McInerney und Wing 2011).
vor ca. 53 Mio. Jahre	Eozän Thermal Maximum 2: Starker globaler Temperaturanstieg um 5-8°C zu Beginn des Eozäns.	Ausstoß an mehreren Gigatonnen von CO ₂ und wahrscheinlich Methan (Sluijs <i>et al.</i> 2009).
vor ca. 50 Mio. Jahre	Azolla-Ereignis: Langsame Abkühlung des Klimas bis in das Oligozän hinein.	Massenhafte Vermehrung von Schwimmpflanzen und die verbundene Reduktion von CO ₂ in der Atmosphäre führt zu Abkühlung (Brinkhuis <i>et al.</i> 2006).
vor ca. 15 Mio. Jahre	Abkühlung während des Klimaoptimums im Miozän: Abkühlung der Erde mit Bildung von Antarktischen Eisschilden	Gebirgsentstehungen und die Verwitterung der Silikatgesteine führten zu einer Abnahme an CO ₂ in der Atmosphäre (Wan <i>et al.</i> 2009).
vor ca. 6 Mio. Jahre	Ausbreitung der C4 Gräser und Einsetzen von Monsunregen: Abkühlung der Erde und Wachstum der Antarktischen Eisschilde	Ausbreitung der C4 Pflanzen führt zu einer weiteren Abnahme an CO ₂ in der Atmosphäre (Zachos <i>et al.</i> 2001).
vor 800 000 – 10 000 Jahre	8 Periodische Kaltzeiten mit Eisschilden über Skandinavien.	Periodische Abnahme der CO ₂ Konzentration in der Atmosphäre aufgrund von u.a. Verwitterung gekoppelt mit den Milankovitch Zyklen der Sonne (Lüthi <i>et al.</i> 2008).
1250-1860	Kleine Europäische Eiszeit: Kälteste Periode in den letzten 8000 Jahren, welche erst durch die Industrialisierung beendet wurde.	Der Ausstoß an Aerosolen durch Vulkanausbrüche und eine verringerte Sonnenfleckaktivität führten zu einer Abnahme der Sonneneinstrahlung (Wanner <i>et al.</i> 2022).

Tabelle 1: Übersicht von ausgewählten, geologisch rezenten Klimaereignissen ausgehend vom Paleozän (65 Mio. Jahre vor heute). Als Auslöser wird hier eines oder mehrere Ereignisse genannt, welche in der Literatur bekannt sind. Aufgrund der Komplexität des Klimasystems ist hier aber oft nicht nur ein einzelner Auslöser verantwortlich. Daten aus: (Zachos *et al.* 2001)

2.3. Der Treibhauseffekt

Die Sonneneinstrahlung liefert die Energie für fast alle auf der Erde ablaufenden Prozesse. Das gesamte elektromagnetische Spektrum des Sonnenlichts, welches bei der Erde ankommt, reicht von etwa 0,1 nm (Röntgenstrahlung) bis zu mehreren Metern (Radiowellen), das kontinuierliche Spektrum jedoch nur von 140 nm bis 10 cm. Da die Atmosphäre das auf dem Erdboden ankommende Sonnenlicht dämpft, wird die Strahlungsleistung der Sonne außerhalb der Atmosphäre gemessen. Die Strahlungsenergie, welche über der Atmosphäre bei der Erde ankommt, wird Solarkonstante bezeichnet (Liou 2010, S. 50) und beträgt im Mittel $E_0 = 1353 \text{ W/m}^2$ (Liou 2010, S. 60). Die auf der Erde ankommende Strahlung und Leistung schwankt jedoch einerseits aufgrund der Geometrie der Erde und der Tatsache, dass zu jedem Zeitpunkt nur die Hälfte der Erde beleuchtet ist. Andererseits spielen auch die Exzentrizität der Erdumlaufbahn und die Neigung der Rotationsachse der Erde selbst eine wichtige Rolle. Aufgrund der oben angeführten Gründe beträgt die in der Erdatmosphäre ankommende Strahlungsleistung im Mittel 340 W/m^2 (Trenberth *et al.* 2009).

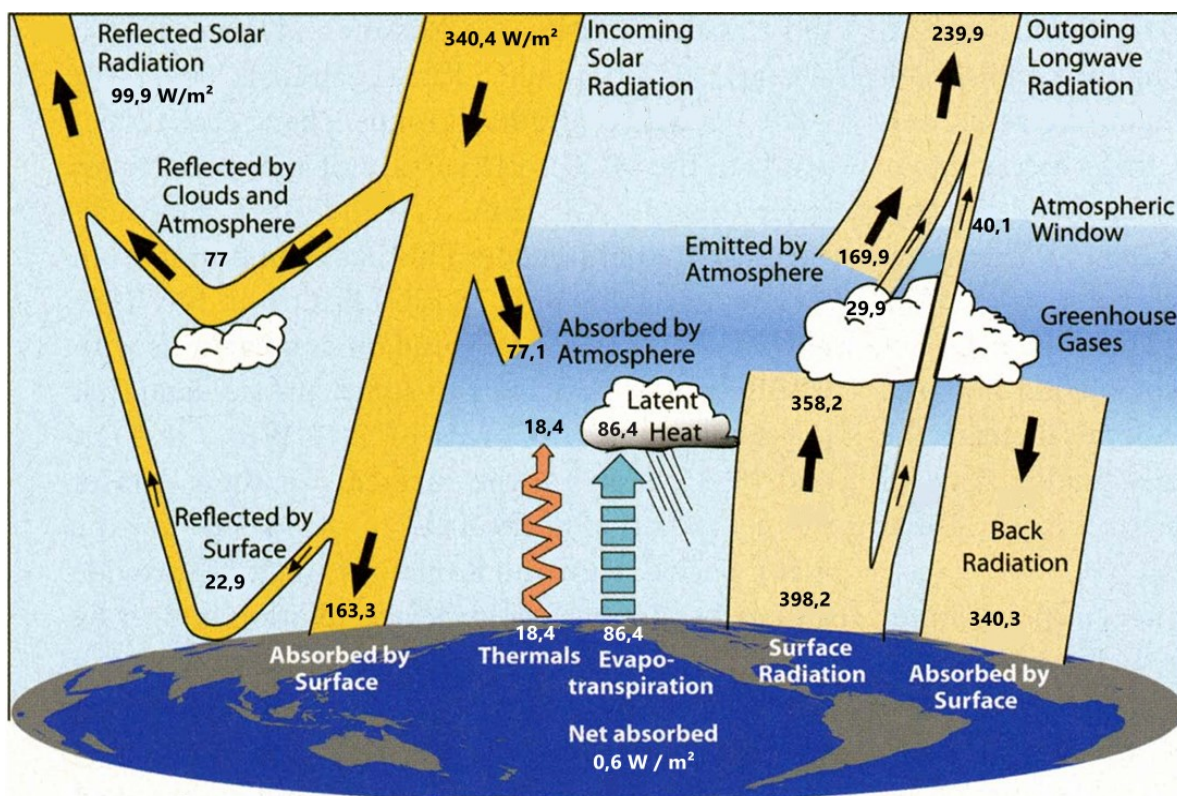


Abb. 3: Das Strahlungsgleichgewicht der Erde (modifiziert aus Trenberth *et al.* 2009). Von den $340,4 \text{ W/m}^2$ auf der Erde einfallenden Strahlungsleistung werden $99,9 \text{ W/m}^2$ direkt reflektiert. $239,9 \text{ W/m}^2$ werden durch Abstrahlung der Atmosphäre und der Erde als langwellige Strahlung über das atmosphärische Fenster direkt in den Weltraum emittiert. Hierbei ergibt sich eine Differenz von $0,6 \text{ W/m}^2$. Bei den in der Abbildung genannten Werten handelt es sich um die Strahlungsleistung in W/m^2 .

Von der in die Atmosphäre eindringenden Strahlung werden 29% wieder zurück in den Weltraum reflektiert. Diese Rückstrahlung wird als planetare Albedo α bezeichnet. Der restliche Anteil wird von der Atmosphäre und dem Boden absorbiert, und als langwellige Infrarot (IR) Strahlung emittiert. Durch die in der Troposphäre, in einer Höhe von 10-13 km, vorhandenen Treibhausgase ist diese für IR-Strahlung weitgehend undurchlässig. So wird die von der Erde emittierte Strahlung absorbiert und zurück zur Erde emittiert, was zu einer Erwärmung der Troposphäre führt. Dieser Prozess wird Treibhauseffekt genannt und führt dazu, dass die über die Breiten und über das Jahr gemittelte Temperatur der Erde ca. 287,15 K (14°C) beträgt. Eine Berechnung der Oberflächentemperatur rein aufgrund des Strahlungsgleichgewichts der Sonne mit der Erde zeigt, dass die Oberflächentemperatur ohne den Treibhauseffekt durchschnittlich 254,15 K (-19°C) betragen würde. Dieser Temperaturunterschied von 32 K kommt natürlicherweise durch die Treibhausgase in der Atmosphäre zustande (Kromp-Kolb *et al.* 2014, S. 147).

Auch die Stratosphäre absorbiert zu einem geringen Maße IR-Strahlung, jedoch emittiert sie in Summe weitaus mehr Strahlung als sie absorbiert. Das führt zu einer Abkühlung der Stratosphäre.

Als Treibhausgase werden alle Gase in der Atmosphäre bezeichnet, welche die IR-Strahlung absorbieren können. Diese Absorption der Treibhausgasmoleküle ist jedoch nur möglich, wenn die elektrischen Ladungen über diese Moleküle ungleich verteilt sind. Das bedeutet, dass nur Moleküle mit einem permanenten oder temporären Dipolmoment die IR-Strahlung absorbieren können. Die Absorption dieser Energieform regt die Moleküle an zu schwingen, welche die Energie in Form von Bewegungsenergie auf andere Moleküle in der Atmosphäre übertragen können. Dadurch kommt es zur Erwärmung des Gases (Scorza *et al.* 2020, S. 409).

Zu den Treibhausgasen aus natürlichen Quellen zählen vor allem Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und Wasserdampf. Neben anthropogenen CH₄ Emissionen, die bei Punkt 2.4.3 genauer besprochen werden, gibt es auch einige natürliche Quellen. Die wichtigsten Quellen hierfür sind Feuchtgebiete und Süßwasser Ökosysteme (Gedney *et al.* 2004; Jackson *et al.* 2020). Methan entsteht hier vor allem durch den anaeroben Abbau von organischem Material durch Mikroorganismen.

Auch Lachgas ist ein Treibhausgas, welches natürliche Quellen besitzt. Hier ist vor allem die mikrobielle Denitrifikation im Zuge des Stickstoffkreislaufs für die Emissionen verantwortlich (Feng und Li 2023).

Die Treibhausgase in der Atmosphäre sind jedoch nicht ausschließlich natürlichen Ursprungs, sondern entstammen seit den letzten tausend Jahren auch zu einem großen Anteil aus anthropogenen Quellen.

2.4. Der anthropogen verursachte Treibhauseffekt

Der anthropogen verursachte Treibhauseffekt beschreibt die Tatsache, dass die menschlich verursachten Emissionen von Treibhausgasen den natürlichen Treibhauseffekt verstärkt haben. Der neuste IPCC Bericht hat dabei festgestellt, dass die globale Durchschnittstemperatur in den Jahren 2001 - 2020 um knapp 1°C wärmer war als in den Referenzjahren 1850 - 1900 (IPCC 2023, S. 42).

Zusätzlich zu den natürlichen Treibhausgasen werden CO₂ aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe, Lachgas und Methan aus der Landwirtschaft, Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKWs) und Fluor-Kohlenwasserstoffe (FKWs) aus der Industrie in die Atmosphäre freigesetzt. Das führt insgesamt zu einem Anstieg der Konzentration an Treibhausgasen in der Atmosphäre und damit einhergehend zu einer Verstärkung des Treibhauseffekts.

Hierbei ist zu beachten, dass verschiedene Treibhausgase den Treibhauseffekt unterschiedlich stark beeinflussen. Um den Einfluss dieser Treibhausgase besser vergleichen zu können, wurde die Größe des Treibhauspotentials (engl. *global warming potential* - GWP) eingeführt. Sie beschreibt wie hoch der Anteil am Treibhauseffekt, gemessen an einer Äquivalenzmenge von CO₂, über eine definierte Zeitspanne ist (IPCC 2021a, S. 2232). Ein THP₂₀ von 84 beschreibt etwa, dass 1 t dieses Gases über einen Zeitraum von 20 Jahren dieselbe Wirkung auf den Treibhauseffekt hat wie 84 t CO₂.

Das GWP von FCKWs und FKWs ist, wie aus Tabelle 2 zu entnehmen, um mehrere Größenordnungen größer als das von CO₂. Die Emission von FCKWs wurde mit dem Montreal Protokoll von 1987 verboten, da diese zur Abnahme von Ozon in der Stratosphäre führen (ABl. L 297), jedoch besitzen viele der als Alternative entwickelten FKWs auch ein sehr hohes GWP (vgl. Tabelle 2). Während diese Emissionen weitaus weniger sind als die von CO₂, wird in der Literatur geschätzt, dass bis 2050 mehr als die Hälfte der Emissionen

durch Treibhausgase verursacht werden, welche weder in Kyoto-Protokoll noch im Pariser Klimaabkommen 2015 enthalten sind (Sovacool *et al.* 2021).

Zusätzlich zu den vorher erwähnten Treibhausgasen ist vor allem Wasserdampf das am stärksten für den Klimawandel verantwortliche Treibhausgas in der Atmosphäre. So schwankt der prozentuelle Anteil, den Wasserdampf zum Treibhauseffekt beiträgt, zwischen 36-70 %.

Name	Chemische Formel	Verweildauer (Jahre)	GWP ₂₀	GWP ₁₀₀
Kohlenstoffdioxid	CO ₂		1	1
Methan	CH ₄	12,4	84	28
Distickstoffmonoxid	N ₂ O	121	264	265
CFC-12*	CCl ₂ F ₂	100	10800	10200
Tetrachlormethan*	CCl ₄	26	3480	1730
1,1,1,2-Tetrafluorethan (R134a)	C ₂ H ₂ F ₄	13,4	3710	1300
Stickstofftrifluorid	NF ₃	500	12800	16100

Tabelle 2: Vergleich des Treibhauspotentials für ausgewählte Treibhausgase (Daten aus IPCC 2013). Kohlenstoffdioxid als Referenz hat ein Treibhauspotential von 1, eine atmosphärische Verweildauer kann hier nicht angegeben werden. Sehr hohe GWPs besitzen vor allem halogenierte Kohlenwasserstoffe wie NF₃, welches in der Halbleiterindustrie verwendet wird oder R134a, welches als Kältemittel noch immer sehr verbreitet ist.

* Die Produktion dieser Verbindungen sollte mit dem Montreal Protokoll in Entwicklungsländern mit 2010 weltweit verboten sein, jedoch sind weiterhin menschliche Emissionen festgestellt worden (Lunt *et al.* 2018; Ma *et al.* 2024).

2.4.1. Rückkopplungseffekte im globalen Klimasystem

Durch die Stoff- und Energiekreisläufe zwischen den Hauptkomponenten des Klimasystems kommt es bei Veränderungen des Klimasystems zu unterschiedlichen Rückkopplungseffekten. Diese Rückkopplungen bestimmen inwieweit der direkte Effekt einer Klimaänderung, wie z.B. der globalen Erwärmung weiter verstärkt oder abgeschwächt wird (Roedel und Wagner 2017). Prinzipiell können Rückkopplungen in positive und negative Rückkopplungen eingeteilt werden. Eine positive Rückkopplung bewirkt, bezogen auf die Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur, einen höheren Anstieg der Temperatur als rein durch die Menge an Treibhausgasen errechnete Erwärmung. Eine negative Rückkopplung bewirkt hingegen eine Dämpfung der errechneten Erwärmung.

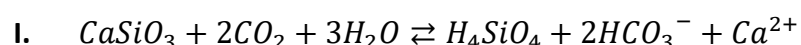
Eine der am besten untersuchten, positiven Rückkopplungen ist die Wasserdampf-Rückkopplung. Diese ist die Folge eines erhöhten Wasserdampfgehalts in der Luft als Folge der Erwärmung der Luft. Eine Erwärmung der Luft bewirkt nämlich einen Anstieg der Sättigungsfeuchte. Dies führt zu einer Verstärkung des Treibhauseffekts aufgrund der starken IR-Absorption des H₂O Moleküls (Roedel und Wagner 2017, S. 557). Ein weiterer gut untersuchter Rückkopplungsmechanismus ist die Abhängigkeit der Albedo der Erde von mit Schnee und Eis bedeckten Flächen. Hier führt eine Zunahme der globalen Durchschnittstemperatur zu einer stärkeren Schmelze und Abnahme der Eisflächen. Dadurch nimmt die Fläche der reflektierenden Flächen ab und führt zu einer Abnahme der Albedo der Erde (und damit zu einer geringeren Reflektion der Sonnenstrahlung) (Roedel und Wagner 2017, S. 557).

Weitere positive Rückkopplungsmechanismen, wie das Tauen der Permafrostböden sind weitaus weniger gut untersucht und sollen an dieser Stelle deswegen nur kurz erwähnt sein.

Nur einige negative Rückkopplungsmechanismen sind wissenschaftlich gut untersucht, wie u.a. die Plank-Rückkopplung (Forster *et al.* 2021, S. 968) oder die Silikat-Verwitterungsrückkopplung (Penman *et al.* 2020). Beide Rückkopplungen tragen laut der Literatur dazu bei, dass die Erde im Laufe der Erdgeschichte weiterhin bewohnbar geblieben ist.

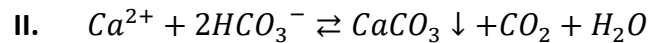
Die Plank-Rückkopplung beruht auf der Tatsache, dass nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz bei einer erhöhten Oberflächentemperatur der Erde die durch langwellige Strahlung abgestrahlte Leistung mit der Temperatur steigt. Studien haben gezeigt, dass die Strahlungsleistung mit der 3. Potenz der Temperatur steigt und dadurch die Erwärmung fast ausgleicht (Cronin und Dutta 2023).

Bei der Silikat-Verwitterungsrückkopplung führt die hohe CO₂ Konzentration in der Luft zur vermehrten Bildung von Kohlensäure (H₂CO₃) im Regen- und im Bodenwasser. Das führt zu der chemischen Verwitterung silikathaltiger Gesteine nach folgender Gesamtreaktion:



Das Calciumsilicat dient hier nur als Platzhalter für mehrere natürlich vorkommende Silikatminerale. Alle Produkte dieser Reaktion sind gut wasserlöslich und werden über Grundwasser und Flüsse in das Meer transportiert. Dort führen sie im Laufe von 10 000

Jahren zu einer Erhöhung der Carbonatkonzentration, in deren Folge Calciumcarbonat gefällt wird.



Dadurch kommt es zu einer langsamen Abnahme der CO₂ Konzentration in der Atmosphäre (Penman *et al.* 2020).

Zum Schluss muss an dieser Stelle noch der Begriff der Kipp-Elemente (engl. *tipping elements*) im Klimasystem der Erde erwähnt werden. Als Kipp-Elemente werden kritische Grenzen bezeichnet, welche beim Überschreiten eine Umkehr zum Ausgangszustand erschweren (Lenton *et al.* 2008). An dieser Stelle soll nur ein Element beispielhaft angeführt werden.

Für das Abschmelzen der Eisschilde in Grönland wurde ein kritischer Wert von +3°C Erwärmung errechnet. Das Überschreiten dieser Marke würde über einen Zeitraum von > 300 Jahren zu einem Anstieg der Meeresspiegel um 2-7 m führen. Analog dazu führt das Abschmelzen der Eisschilde in der West-Antarktis zu einem Anstieg der Meeresspiegel um 5 m (Lenton *et al.* 2008).

2.4.2. Anthropogene Einflüsse auf das heutige Klima

Hauptauslöser des Anstiegs der globalen Durchschnittstemperaturen ist die Erhöhung der Konzentration an CO₂ in der Atmosphäre (siehe Abb. 4). Hauptverursacher dafür ist die Nutzung von fossilen Brennstoffen wie Kohle, Gas oder Öl und die damit verbundene Emission von CO₂ bei deren Verbrennung. Wie bei Abb. 4 zu sehen ist, ist die CO₂ Konzentration in der Atmosphäre seit 1960 um mehr als 100 ppm gestiegen.

Neben der Verbrennung von fossilen Brennstoffen ist die Veränderung von Landnutzung der zweitgrößte globale Verursacher der anthropogenen CO₂ Emissionen (Le Quéré *et al.* 2009). Während Wälder, Moore und das Meer globale Senken für CO₂ sind und dieses aufnehmen, wird bei der Zerstörung dieser Ökosysteme sehr viel CO₂ freigesetzt. Hierbei zählen vor allem die Brandrodung von Wäldern, die intensive Landwirtschaft und die Forstwirtschaft. So wurden nur durch diese Änderung der Landnutzung zwischen 1961 und 2020 ca. 13,12 ± 0,77 Gt an CO₂ in die Atmosphäre freigesetzt (Qin *et al.* 2024).

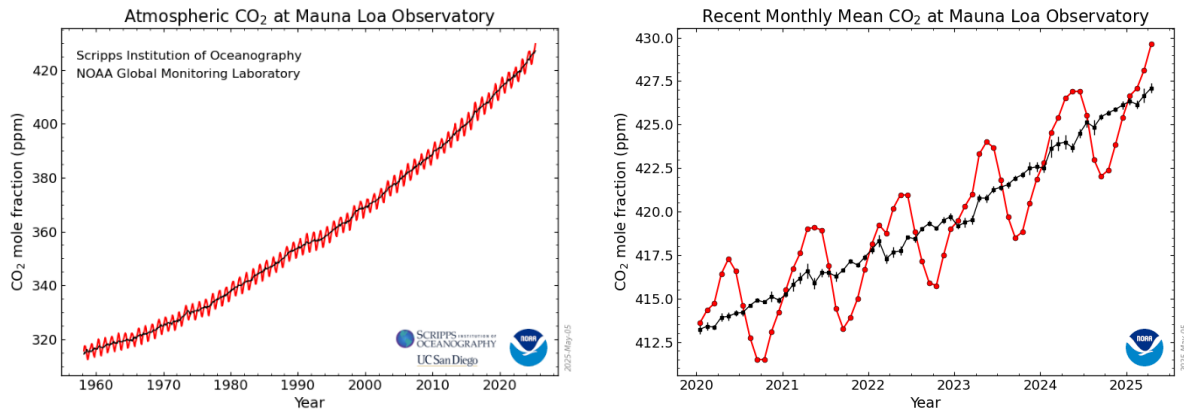


Abb. 4: Zunahme der atmosphärischen Konzentration an CO₂ am Mauna Lao Observatorium, Hawaii (Zur Verfügung gestellt von NOAA Global Monitoring Laboratory). a) Die Zunahme der CO₂ Konzentration seit 1960 beträgt über 100 ppm und ist damit weitaus schneller als historisch verzeichnete Anstiege. b) Die Zunahme zwischen den Jahren 2020 und 2025 beträgt über 10 ppm.

Die intensive Landwirtschaft ist jedoch nicht nur für CO₂ Emissionen verantwortlich, sondern zusätzlich für den Großteil an Lachgas (N₂O) Emissionen. Durch die intensive Stickstoff-Düngung auf Feldern wird eine große Menge an Stickstoff in den Boden eingetragen. Durch die mikrobielle Denitrifikation werden eingetragenen Nitrate (NO₃⁻) und Nitrite (NO₂⁻) über Lachgas als Intermediat, zu atmosphärischen Stickstoff N₂ reduziert (Russow *et al.* 2000). Da Lachgas allerdings gasförmig ist, werden bei Überdüngung große Mengen in die Atmosphäre emittiert. So wird in wissenschaftlichen Studien geschätzt, dass 2018 durch die Landwirtschaft bereits 4,26 Mt an Stickstoff in der Form von N₂O in die Atmosphäre freigesetzt wurden (Feng und Li 2023; Menegat *et al.* 2022). Während diese Menge um einen Faktor von 10⁶ geringer ist als die Freisetzung an CO₂, ist jedoch zu berücksichtigen, dass Lachgas eine längere Verweildauer in der Atmosphäre besitzt und ein höheres Treibhauspotential (siehe 2.4) besitzt. Zusätzlich dazu wird auch bei der Verbrennung von Biomasse und fossilen Brennstoffen Lachgas freigesetzt.

Ein weiteres Treibhausgas, welches aufgrund der intensiven Landwirtschaft freigesetzt wird, ist Methan (CH₄). Es entsteht u.a. auf natürlichem Weg, während des Verdauungsprozesses bei Wiederkäuern. Aufgrund des hohen Bedarfs an Rindfleisch und Milchprodukten für den menschlichen Verzehr wurden 2017, allein durch Viehhaltung, ungefähr 115 Mt an Methan in die Atmosphäre freigesetzt. Insgesamt trägt der landwirtschaftliche Sektor mit ca. 227 Mt an Emissionen zum Klimawandel bei (Jackson *et al.* 2020). Auch hier ist anzumerken, dass das Treibhauspotential von Methan um einen Faktor von 28 (für 100 Jahre) höher ist als das von CO₂.

Ein weiterer entscheidender Faktor für die Emission von Treibhausgasen ist die Industrie, allen voran die Zementindustrie. Schon jetzt ist sie für 5-8% der globalen Emissionen verantwortlich (Farfan *et al.* 2019) und wird voraussichtlich bis 2050 weiter steigen (Cheng *et al.* 2023). Wie schon bei zu Beginn des Kapitels angeführt, sind auch FCKWs und FKWs Treibhausgase, welche von der Industrie in die Atmosphäre freigesetzt werden. NF3 ist beispielsweise ein Gas, welches viel in der Halbleiter- und Solarzellenherstellung verwendet wird. Obwohl es in die Liste von klimaschädlichen Gasen im Kyoto Protokoll aufgenommen wurde, sind weiterhin hohe Emissionen in Ostasien zu beobachten (Liu *et al.* 2024). Andere FKWs werden in der Industrie als Kältemittel in Klimaanlage, Kühlschränken oder Gefrierschränken verwendet. Hier entstehen Emissionen u.a. durch Lecks oder beim Wiederbefüllen von Kältemaschinen mit dem Kältemittel. Nur beispielhaft soll hier das Gas R134a (1,1,1,2-Tetrafluorethan) genannt werden, welches ein GWP₁₀₀ von 1430 besitzt. Hier wurde in der EU die Verwendung als Kältemittel in neuzugelassenen PKWs mit 2011 untersagt (ABl. L 161/12). Insgesamt nimmt die Emission von FKWs global gesehen aber trotzdem stark zu (Dhakal *et al.* 2023).

2.5. Die Auswirkungen des Klimawandels

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die 5 Hauptkomponenten des Klimas sind sehr vielfältig. Zum heutigen Klimawandel zählt außer dem Anstieg der globalen Durchschnittstemperaturen auch die Häufung von Extremwetterereignissen, wie Starkregen, Hagel, Dürren und Stürmen, und auch die Wanderung der Klimazonen der Erde. Alle diese Änderungen führen einerseits zu Folgen für die Umwelt, wie u.a. Biodiversitätsverlust, und andererseits vielfach zu ökonomischen und gesellschaftlichen Folgen.

Im Folgenden werden einige der globalen sowie österreichischen Auswirkungen des Klimawandels auf Wirtschaft, Umwelt und den Menschen genauer behandelt.

2.5.1. Globale Auswirkungen

Die direkten Auswirkungen des Klimawandels auf den Menschen sind seit dem IPCC Bericht von 2014 noch deutlicher geworden. So führt die globale Veränderung des Klimasystems zu Änderungen der Niederschlagshäufigkeit und -menge. Die Häufigkeit von

Extremwetterereignissen wie Tropenstürmen, Hitzewellen und Dürreperioden, aber auch Überflutungen durch hohe Niederschlagsmengen ist gestiegen (IPCC 2023, S. 46).

Vor allem durch starke Regenfälle und Dürren sind auch zunehmend die Ernährungs- und Wassersicherheit gefährdet (IPCC 2023, S. 50). Zusätzlich dazu führt die Erwärmung zu einem Anstieg der Meeresspiegel, wodurch vermehrt Salz in das Grundwasser eingetragen wird. Durch Überflutungen, Dürren, Stürme und die Trinkwasserknappheit wird auch die Ausbreitung von Infektionskrankheiten begünstigt und die Schwere anderer Krankheiten beeinflusst (Maslin *et al.* 2025). Auch der Anstieg der Hitzetage und Tropennächte führt zu einer erhöhten Sterblichkeit bei älteren und schwächeren Personengruppen. Diese Auswirkungen sind vor allem für die Bevölkerung in Ländern mit niedrigem und mittleren Einkommen überdurchschnittlich höher zu spüren (Maslin *et al.* 2025).

Weitere direkte Folgen für den Menschen sind, durch den Anstieg der Meeresspiegel, der Verlust von Landflächen und die zunehmende Erosion von Küstengebieten. Daraus folgend wird eine zunehmende Migration der Bevölkerung von den Küsten in das Landesinnere stattfinden (Reimann *et al.* 2023).

Weiters sind Verluste von Biodiversität in terrestrischen, marinen und limnischen Ökosystemen höher als zuvor angenommen (IPCC 2023, S. 46). Hier ist beispielhaft die fast jährliche Korallenbleiche in vielen Riffen, wie auch dem Great Barrier Reef, durch erhöhte Wassertemperaturen zu erwähnen (Henley *et al.* 2024).

Der letzte IPCC Report zeigt, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf die Ozeane in den letzten 40 Jahren stark zugenommen haben. So hat die Zunahme der Oberflächentemperatur der Ozeane zwischen 1850 - 2020 0,88°C betragen, die Zunahme seit 1980 alleine hat allerdings bereits 0,6°C ausgemacht (Fox-Kemper *et al.* 2021, S. 1221). Durch die Temperaturzunahme hat sich auch die Stratifikation der Ozeane erhöht, was die Durchmischung des Wassers und damit den Sauerstoff- und Nährstoffaustausch behindert (Li *et al.* 2020). Die Erhöhung der Temperatur geht auch mit einer geringeren Löslichkeit von Gasen im Wasser einher, was dazu führt, dass die Sauerstoffkonzentration in allen Gewässern gesunken ist. All diese Auswirkungen gemeinsam führen unter anderem dazu, dass sich die geographische Verteilung der Arten in den Ozeanen über die letzten 20 Jahre verändert hat (IPCC 2021b).

Zusätzlich steigt durch die Erwärmung der Ozeane die Gefahr einer Ansiedelung bzw. weiteren Ausbreitung von Neozoen in den Ökosystemen. Diese können zu großen Schäden

innerhalb der Ökosysteme und dadurch auch zu großen finanziellen Schäden im Tourismus oder, bei marinen Ökosystemen, in der Fischerei führen.

Bekannte Beispiele von Neozoen im Mittelmeer sind beispielsweise die Verbreitung der Feuerfische (*Pterois miles* und *P. volitans*) und der Blaukrabbe (*Callinectes sapidus*). Die Ansiedelung dieser Organismen ist keine direkte Folge des Klimawandels, jedoch wird durch die Erwärmung der Ozeane die Ausbreitung erleichtert (Albano 2017; Marchessaux *et al.* 2022). Beide Arten haben bereits immense ökologische Schäden an den Riffen im Mittelmeer angerichtet, wobei die Blaukrabbe auch für große finanzielle Schäden für die Fischerei verantwortlich ist.

Eine weitere Auswirkung des Klimawandels auf die Ozeane, welche im Kapitel 2.6. genauer behandelt wird, ist die Senkung des pH-Werts der Ozeane.

2.5.2. Auswirkungen auf Österreich

Auch in Österreich selbst sind viele Folgen des Klimawandels direkt zu spüren. So belief sich die durchschnittliche Temperaturerhöhung aufgrund des Klimawandels in Österreich 2014 schon auf fast 2°C (Kromp-Kolb *et al.* 2014, S. 228).

Der Klimaschutzbericht 2024 des Umweltbundesamts zeigt starke ökologische, ökonomische und auch gesundheitliche Folgen des Klimawandels für Österreich.

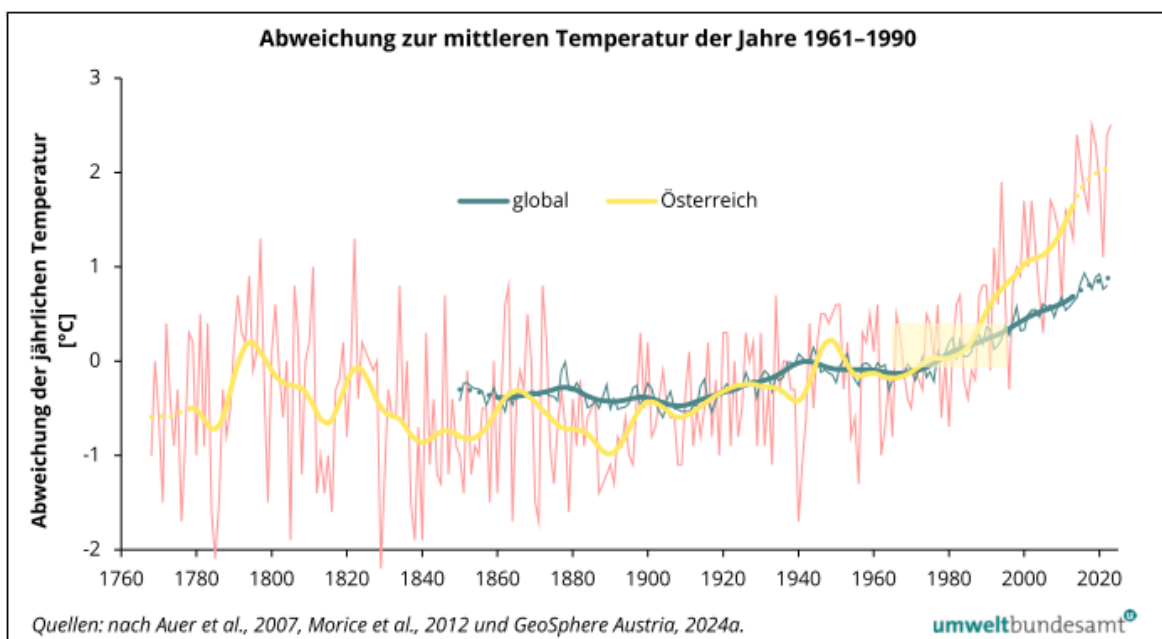


Abb. 5: Jährliche Abweichung der globalen Durchschnittstemperatur zu der Durchschnittstemperatur in Österreich. (Michael et al. 2024) Der Temperaturunterschied zu den Referenzjahren 1961-1990 beträgt in Österreich schon jetzt 2°C. Das Jahr 2023 war sogar um 2,5°C wärmer als die Referenzjahre (gelb hinterlegt).

So wird die Anzahl der Hitzetage und Tropennächte in Österreich weiter steigen. In Wien wurden 2019 durch Geosphere Austria im Stadtzentrum alleine 43 Tropennächte registriert (Daten aus: GeoSphere Austria). Als Tropennächte werden Nächte bezeichnet in welchen die Lufttemperatur in der Nacht nicht wieder unter 20°C sinkt. Tropennächte sind vor allem in städtischen Gebieten noch häufiger. Hohe Temperaturen in der Nacht führen zu einer zusätzlichen Belastung des Herz-Kreislaufsystems und führen zu einem über die gesamte Bevölkerung verteilten erhöhten Sterberisiko (Rippstein *et al.* 2023; Royé *et al.* 2021).

Zusätzlich kommt es durch die Erwärmung einerseits zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode. Das kann vorteilhaft für die Landwirtschaft sein und höhere Ernteerträge ermöglichen. Andererseits kommt es aber auch zu einer Ausbreitung von wärmeliebenden Schädlingen und Krankheitsüberträgern. So führt die Ausbreitung des Borkenkäfers zu großen ökonomischen Schäden in der Forstwirtschaft, während die Ausbreitung und Ansiedelung von tropischen Stechmücken oder tropischen Zeckenarten gesundheitliche Folgen für die Bevölkerung haben kann. Beispielsweise ist die Tigermücke (*Aedes albopictus*) ein Vektor für das Dengue-Virus und das Chikungunya-Virus (Farooq *et al.* 2025), während die tropische Riesenzecke (*Hyalomma marginatum*) ein Vektor für Bakterien der Gattung *Rickettsia* und das Krim-Kongo-Fieber-Virus ist (Palomar *et al.* 2013). In Österreich werden im Winter die Niederschläge in Form von Regen zunehmen, wodurch es zu einem Rückgang der Schneebedeckung und einem Anstieg der Schneegrenze kommt. Als Konsequenz daraus wird sich die Wasseraufnahmefähigkeit von Böden verringern.

Im Sommer führen längere Trockenperioden, gepaart mit Starkregenereignissen und einer geringeren Aufnahmefähigkeit, zu verstärkter Bodenerosion und Humusabbau. In weiterer Folge steigt die Wahrscheinlichkeit von Hangrutschungen, Muren und Steinschlägen. Während die Wälder in Österreich bisher nicht zu den feuergefährdeten Ökosystemen zählen, steigt durch die vom Klimawandel verursachten Trockenperioden auch die Häufigkeit von Waldbränden in ganz Europa (EASAC 2025, S. 17–18). Die längeren Trockenperioden führen jedoch auch zu zunehmenden Problemen in der Landwirtschaft, da die Böden zunehmend austrocknen und dadurch ein geringeres Wasserspeichervermögen besitzen (Kromp-Kolb *et al.* 2014, S. 795–796; Michael *et al.* 2024, S. 34–35).

All diese Auswirkungen auf die Umwelt haben natürlich auch direkte Auswirkungen auf den Menschen, die österreichische Wirtschaft und die Gesellschaft. So wurden

klimawandelbedingte Schäden im Jahr 2020 vom Klimaschutzbericht 2024 mit 2 Mrd. Euro beziffert. Prognosen für das Jahr 2050 schätzen die Kosten auf 6-12 Mrd. Euro pro Jahr, wobei dieser Wert weiter steigen kann (Michael *et al.* 2024, S. 62–63). Die ökonomischen Folgen des Klimawandels sind in allen Bereichen, wie Tourismus, Land-, Forst- und Energiewirtschaft und den Gesundheitswesen zu spüren. So sind geringere Einnahmen im Wintertourismus und speziell in den Skigebieten zu erwarten, da die Dauer der Schneebedeckung auch auf den Bergen abnimmt (Steiger *et al.* 2021). Aber auch der zunehmende Migrationsdruck durch das Ansteigen der Meeresspiegel wird in Österreich zu spüren sein (Michael *et al.* 2024, S. 7).

Auswirkungen, welche die Österreicher*innen direkt spüren werden, sind vor allem der erhöhte Kühlbedarf im Sommer, gekoppelt mit Einschränkungen der Energieerzeugung im Bereich der erneuerbaren Energien und eine höhere Anfälligkeit für Störungen am Stromnetz durch höheren Energiebedarf an Hitzetagen (Michael *et al.* 2024, S. 62–63).

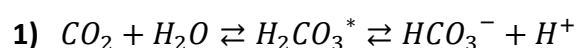
2.6. Die Versauerung der Ozeane

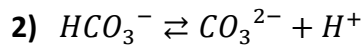
Als Versauerung der Ozeane wird allgemein die Senkung des pH-Werts der Weltmeere durch die erhöhten CO₂ Emissionen bezeichnet.

2.6.1. Fachliche Grundlagen der Ozeanversauerung

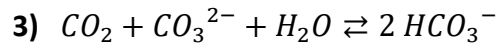
Die Ozeane sind eine große Senke für atmosphärisches CO₂, wobei diese zwischen den Jahren 1800 und 1994 ungefähr 432±69 Gt an CO₂ aufgenommen haben (Sabine *et al.* 2004, S. 370). In den Jahren 2013-2022 betrug der Nettofluss an CO₂ in die Ozeane ungefähr 10,6±1,4 Gt pro Jahr (Friedlingstein *et al.* 2023, S. 5305), da CO₂ im Gegensatz zu anderen Gasen wie Stickstoff, Sauerstoff oder Argon besser in Wasser löslich ist (Byrne 2014, S. 5352).

Diese überwiegende Aufnahme des atmosphärischen CO₂ durch die Ozeane resultiert in einer kontinuierlichen Abnahme des pH-Werts. Die Aufnahme von CO₂ in wässrigen Lösungen führt zu der Bildung von Kohlensäure (H₂CO₃), wovon jedoch nur ein sehr geringer Anteil als Kohlensäure verbleibt (vgl. Reaktion 1). Der Rest dissoziiert wobei Hydrogencarbonat-Anionen (vgl. Reaktion 1, rechts) und Carbonat-Anionen (vgl. Reaktion 2) entstehen.





Das große Aufnahmevermögen der Ozeane für CO_2 kommt vor allem durch die Carbonat-Ionen im Meerwasser zustande, welche zusammen mit HCO_3^- als Puffer wirken. Die Aufnahme an CO_2 verursacht vor allem eine Abnahme an Carbonat-Ionen und eine Zunahme an Hydrogencarbonat-Ionen (vgl. Reaktion 3).



Die Verschiebung der Pufferzusammensetzung führt zu einer Abnahme des pH-Werts (vgl. Abb. 6), so wie das Karbonisieren von Getränken durch CO_2 Zugabe zu einer Senkung des pH-Werts führt. Diese Abnahme ist besonders stark in den Polarregionen zu beobachten, wo der pH-Wert seit 1980 um 0,003 - 0,028 Einheiten pro Dekade abgenommen hat (Constable *et al.* 2022, S. 2324).

Die Senkung der Carbonat Konzentration hat in den Ozeanen die Folge, dass das Oberflächenwasser nicht mehr eine gesättigte Lösung von Carbonat-Ionen darstellt. Dadurch reagiert das Meerwasser, indem Carbonate vermehrt gelöst werden. Das führt vor allem bei Organismen, welche Calciumcarbonat Skelette ausbilden zu Problemen beim Wachstum, da einerseits die Konzentration an Carbonat-Ionen im Meerwasser geringer ist und andererseits das gebildete Calciumcarbonat vom Meerwasser verstärkt gelöst wird.

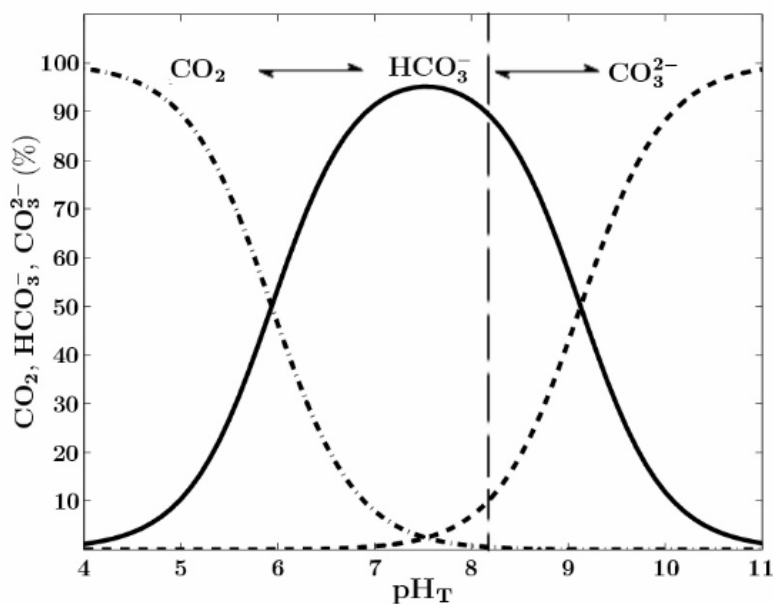


Abb. 6: Hägg Diagramm des Carbonat Gleichgewichts im Meerwasser. Durch die Zunahme an gelöstem CO_2 im Meerwasser nimmt auch die CO_3^{2-} Konzentration ab, während $[\text{HCO}_3^-]$ zunimmt. Das führt zu einer Senkung des pH-Werts. Die gestrichelte Linie bei stellt die Zusammensetzung des Meerwasser zum Jahr 2007 dar (Oettmeier 2007).

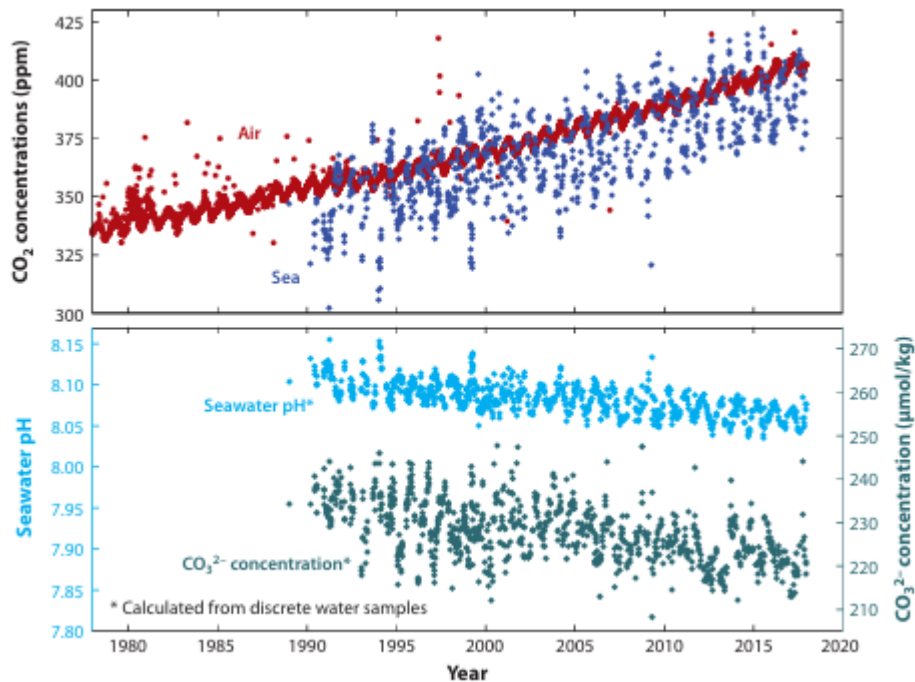
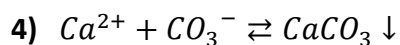


Abb. 7: Auswirkungen der atmosphärischen CO₂ Konzentration auf die Carbonat Chemie der Ozeane, gemessen im Nord Pazifik von 1988 bis 2015 (Doney et al. 2020). Der obere Graph zeigt die Abhängigkeit der Zunahme an gelösten CO₂ in den Meeren (blau) vom der atmosphärischen CO₂ Konzentration (rot). Der untere Graph zeigt die mit der Abnahme der Carbonat Konzentration einhergehende Senkung des pH-Werts der Meere.

2.6.2. Auswirkungen der Ozeanversauerung

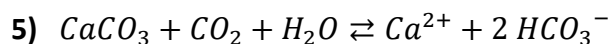
Folgen der Ozeanversauerung sind vor allem für kalkbildende Organismen zu spüren. Calciumcarbonat in der Form von Aragonit bildet den Großteil der Skelettstrukturen vieler Meeresorganismen, wie Muscheln, Korallen, Gehäuseschnecken oder auch Seeigeln. Die Bildung des Kalkskeletts läuft vereinfacht nach der Reaktionsgleichung 4 ab, wobei das Gleichgewicht dieser Reaktion auf der rechten Seite liegt.



Anhand dieser Reaktionsgleichung ist sichtbar, dass eine Senkung der Konzentration von Carbonat-Ionen das chemische Gleichgewicht auf die linke Seite verschiebt. Die Folge davon ist, dass die Bildung von Kalkskeletten durch die Ozeanversauerung behindert wird. So haben wissenschaftliche Studien festgestellt, dass die Fällung von Calciumcarbonat bei der Entwicklung von Austernlarven in den ersten 2 Tagen ausschlaggebend für die Entwicklung und das Überleben ist. Dieser Prozess wird allerdings mit sinkendem pH-Wert energetisch kostspieliger, was eine geringere Vitalität verursacht (Waldbusser et al. 2013). Eine weitere Studie hat schon 2007 festgestellt, dass die Schale der Austernlarven bei geringem pH-Wert kleiner und dünner ist, als die Schale von Larven, welche bei einem Auch

bei der Muschel *Spisula solidissima* wurde ein erhöhter Energiebedarf in Folge der Ozeanversauerung festgestellt (Pousse *et al.* 2020).

Eine weitere Folge an zusätzlich gelöstem CO₂ in den Meeren ist, dass die sog. Carbonat-Kompensationstiefe (CCD) steigt. Durch den hohen Druck, der geringen Temperatur und der vergleichsweise hohen Konzentration an CO₂ in der Tiefe der Meere, ist ab einer bestimmten Tiefe die Lösungsrate von Carbonaten gleich groß wie die Eintragsrate. In Folge dessen kann sich ab dieser Grenze kein Calciumcarbonat mehr bilden. Die Gleichgewichtsreaktion wird in Reaktionsgleichung 5 dargestellt.



Genauer müssen hier zwei verschiedene Kompensationstiefen unterscheiden werden, die Aragonit-Kompensationstiefe (ACD) und die Calcit-Kompensationstiefe (CCD). Bei Aragonit und Calcit handelt es sich um 2 verschiedene Kristallgitterstrukturen von Calciumcarbonat, wobei Aragonit in Wasser leichter löslich ist als Calcit. In der Folge ist auch die ACD mit durchschnittlich 1500 m geringer als die CCD mit 4500 m (Berger 1978).

Das Calciumcarbonat von vielen riffbildenden Korallen und Muscheln besteht zu mehr als 90% aus Aragonit. Durch das Steigen der ACD über 1500 m kann es einerseits zum Lösen von bestehenden Riffen kommen und andererseits wird das Wachstum von kalkbildenden Organismen in diesen Tiefen komplett inhibiert (Sulpis *et al.* 2018).

2.7. Der Klimawandel im Unterricht

Der Klimawandel ist ein gesellschaftliches Problem, welches aufgrund der damit verbundenen Zeitskalen vor allem auch für Schüler*innen von großer Bedeutung ist. Als zukünftige politische Akteur*innen und Teilnehmer*innen der Gesellschaft werden sie die globalen Entscheidungen in den kommenden Jahren mittreffen und auch mitverantworten.

Um dieser Rolle gerecht zu werden, müssen die Schüler*innen einerseits die grundlegenden Prozesse hinter dem Phänomen so wie auch die damit verbundenen Auswirkungen verstehen. Allein aus diesem Grund sollte das Thema in der Schule und vor allem im naturwissenschaftlichen Unterricht ausreichend behandelt werden und dabei die Entwicklung einer naturwissenschaftlichen Grundbildung gefördert werden.

Der Chemieunterricht soll das Verständnis der Schüler*innen von chemischen Prozessen und Phänomenen fördern, weshalb der Klimawandel an dieser Stelle nicht fehlen darf. Da die Thematik jedoch äußerst komplex ist, ist eine vollständige Behandlung in der

Sekundarstufe I nur schwer möglich. Das gesamte Thema kann deswegen nur oberflächlich behandelt werden. Ein tiefgehendes Wissen der atmosphärischen Prozesse ist jedoch gar nicht notwendig, damit Schüler*innen über Auswirkungen Bescheid wissen und für dieses Thema sensibilisiert werden (Mauthner 2010, S. 8). Die Vernetzung des Themas inner- als auch interfachlich soll chemisches Fachwissen festigen und zu umweltgerechten Handeln im Alltag befähigen. Das ist vor allem wichtig, da der Klimawandel selbst ein rein physikalisch und chemisches Phänomen darstellt, jedoch müssen die Handlungsmöglichkeiten und Lösungsstrategien immer unter Berücksichtigung von ökonomischen, ökologischen und politischen Faktoren entwickelt werden (Möller *et al.* 2021, S. 210).

Interessant ist, dass nach einer Untersuchung von Halili (2023) Schüler*innen der 8. Schulstufe im ersten Semester dem Unterrichtsfach Geographie die größte Rolle hinsichtlich des Klimawandels zuordnen. In derselben Arbeit wurde festgestellt, dass die Rolle der Chemie im Kontext des Klimawandels für die Schüler*innen sogar an letzter Stelle steht (Halili 2023, S. 31–32).

Zu beachten am Chemieunterricht in der Sekundarstufe I ist zusätzlich noch, dass dieser unter den anderen naturwissenschaftlichen Fächern eine Sonderstellung besitzt. Innerhalb eines Schuljahres (außer an wirtschaftskundlichen Gymnasien) sollen die Schüler*innen im Rahmen des Chemieunterrichts Kompetenzen für das Treffen von naturwissenschaftlich begründeten Entscheidungen und für die Teilnahme an gesellschaftlichen und politischen Entscheidungen erwerben. Das ist vor allem für Schüler*innen wichtig, welche nach der 8. Schulstufe keinen Chemieunterricht mehr besuchen werden. Gerade die Chemie kann einen großen Beitrag für ein besseres Verständnis des Klimawandels und dessen Auswirkungen liefern. Aufgrund der Komplexität ist es jedoch wichtig, einen kleinen Rahmen zu wählen und diesen gut in den chemischen Fachunterricht zu einzubinden. Erst nach dem Erwerben von Grundwissen kann dieses Wissen auch in anderen Kontexten, wie der Ozeanversauerung, angewendet werden.

So ist es möglich, die Problematik der Ozeanversauerung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I im Kontext der Säuren und Basen zu unterrichten. Hierbei können die Schüler*innen für die Auswirkungen des fallenden pH-Werts der Meere sensibilisiert werden und im Zuge dessen chemisches Fachwissen in anderen fachlichen und

überfachlichen Kontexten anwenden. An dieser Stelle bietet sich vor allem die Biologie an, um genauer auf die Auswirkungen der Ozeanversauerung auf Lebewesen einzugehen.

2.7.1. Der Lehrplan

Zum Lehrplan sind vorweg mehrere Gegebenheiten zu berücksichtigen. Mit dem Schuljahr 2023/24 trat ein neuer, kompetenzorientierter Lehrplan für die 5. Schulstufen in Kraft (BGBl. II Nr. 1/2023). Der Gesetzgeber sieht vor, dass ab diesem Schuljahr der kompetenzorientierte Lehrplan mit dem Aufsteigen in die nächsthöheren Schulstufen für diese übernommen wird. Das bedeutet, dass für die 8. Schulstufen der alte Lehrplan noch bis zum Schuljahr 2026/27 weiterhin in Kraft bleibt. Folgendermaßen werden Berührungspunkte der Unterrichtsfächer Biologie und Umweltbildung mit Chemie in beiden Lehrplänen ausgearbeitet. In weiterer Folge wird der kompetenzorientierte Lehrplan als neuer Lehrplan (NLP) und der alte Lehrplan (ALP) als solcher bezeichnet.

Sieht man sich beide Lehrpläne der AHS an, so stellt man fest, dass die Klimaproblematik nur selten explizit genannt wird. Die Thematik lässt sich jedoch durch die komplexen Verknüpfungen innerhalb der Thematik in vielen Abschnitten des Lehrplans verorten.

Dazu ist festzustellen, dass der Lehrplan in zwei große Abschnitte unterteilt ist: einen allgemeinen Lehrplan und die Fachlehrpläne. Zu beachten ist hier, dass im NLP interdisziplinärer Unterricht durch 13 überfachliche Themen gefordert wird, wobei Berührungspunkte zu anderen Fächern im Unterricht geschaffen werden sollen (Bundesministerium für Bildung, 2023, S. 10, 17-18). Die Thematik Klimawandel ist in der überfachlichen Thematik „Umweltbildung für nachhaltige Entwicklung“ zu verorten (vgl. Bundesministerium für Bildung, 2023, S. 100).

In der weiteren Arbeit wird die Sichtung der Lehrpläne auf die Fachlehrpläne für Chemie und Biologie beschränkt. In den Fachlehrplänen kann zwischen der Bildungs- und Lehraufgabe des Unterrichts und den damit verknüpften Fachinhalten unterschieden werden.

Die Klimaproblematik ist allerdings schon in der Bildungs- und Lehraufgabe des Chemieunterrichts zu verorten. So steht im ALP folgendes geschrieben:

„Der Chemieunterricht hat weiters die Aufgabe, die Schülerinnen und Schüler in die Lage zu versetzen, die volkswirtschaftliche und gesellschaftliche Bedeutung von

Chemie und Technik altersgemäß einzuschätzen sowie auf die Berufs- und Arbeitswelt vorzubereiten. Dies geschieht durch:

– Hinführen zu einem Verständnis für Stoffkreisläufe, für die Wechselbeziehung Ökonomie Ökologie und damit zu umweltbewusstem Handeln sowie zu Energie- und Rohstoffsparen; [...].“ (BGBl. II Nr. 133/2000, S. 1061)

Im NLP sind in der Bildungs- und Lehraufgabe sehr viele Ähnlichkeiten wiederzufinden, jedoch unterscheidet er sich vom ALP, da u.a. das Eingehen auf die Lebenswelt der Schüler*innen als Ausgangspunkt definiert wird.

„Ausgehend von der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler zielt der Chemieunterricht darauf ab, Phänomene und Vorgänge aus Alltag, Technik und Umwelt zu erfassen und besser zu verstehen. [...] Dadurch werden die Schülerinnen und Schüler befähigt, Entscheidungen naturwissenschaftlich begründet zu treffen, Produkte und Ressourcen nachhaltig zu nutzen und verantwortungsbewusst zu handeln. Der Chemieunterricht gibt Einblicke in die Bedeutung der Wissenschaft Chemie und der chemischen Industrie für Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt.“ (BGBl. II Nr. 1/2023, S. 100)

Sowohl im alten als auch im neuen Lehrplan sind also schon als allgemeine Bildungsaufgabe des Chemieunterrichts die Hinführung zum Verständnis von Stoffkreisläufen und der Wechselbeziehung von Ökologie und Ökonomie sowie das umweltbewusste Handeln verankert. Wie in den Kapiteln 2.2. bis 2.6. erläutert, handelt es sich beim Klimawandel um eine komplexe Thematik, die einer vollständigen Auseinandersetzung bedarf. Nur dadurch kann es den Schüler*innen ermöglicht werden, die notwendigen Kompetenzen zu erwerben um verantwortungsbewusste Entscheidungen zu treffen. Im NLP wird sogar explizit erwähnt, dass Schüler*innen befähigt werden sollen, naturwissenschaftlich begründete Entscheidungen zu treffen.

Dies geht mit den didaktischen Grundsätzen einher, welche besagen, dass der Chemieunterricht die Schüler*innen zur Teilhabe an gesellschaftsrelevanten und naturwissenschaftlichen Entscheidungsprozessen befähigen soll, insbesondere bei den Themen Umweltschutz, Nachhaltigkeit und Gesundheit (BGBl. II Nr. 1/2023, S. 100).

Auch im Fachlehrplan für Biologie lässt sich der Klimawandel bereits unter der Bildungs- und Lehraufgabe verorten. Dort heißt es im ALP:

„Die Schülerinnen und Schüler sollen die Abhängigkeit der Menschen von Natur und Umwelt begreifen und Wissen, Fähigkeiten/Fertigkeiten erwerben, die sie für einen umweltbewussten, nachhaltigen Umgang mit unseren Lebensgrundlagen motivieren und befähigen (ökologische Handlungskompetenz).“ (BGBl. II Nr. 133/2000, S. 1057)

Da der Klimawandel unsere Umwelt nachhaltig verändert und damit unsere Lebensgrundlage zerstört, ist die Thematisierung des Klimawandels unerlässlich. Nur so können die vom Lehrplan geforderten Fähigkeiten für einen nachhaltigen Umgang mit den menschlichen Lebensgrundlagen erlernt werden.

Auch im NLP ist die Klimathematik schon unter der Bildungs- und Lehraufgabe zu verorten:

„Schülerinnen und Schüler erkennen sich als Teil der Natur und sind in der Lage, die Mensch-Natur Beziehung kritisch zu reflektieren. [...] Durch Wissen, emotionale Zugänge und Naturerfahrungen wird [...] Bewusstsein für den Biotop- und Artenschutz geschaffen und ein [...] verantwortungsvoller Umgang mit der Umwelt gefördert.“ (BGBl. II Nr. 1/2023, S. 110)

Sowohl die Mensch-Natur Beziehung, das Bewusstsein für Biotop und Artenschutz als auch der verantwortungsvolle Umgang mit der Umwelt erfordern auch hier eine Auseinandersetzung mit dem Klimawandel.

Der Klimawandel wird in beiden Lehrplänen nicht explizit angesprochen, jedoch sehen beide Lehrpläne als eine der Aufgaben des Unterrichts u.a. die Kompetenzen der Lernenden in umweltbewusstem Handeln zu fördern. Auch die Abhängigkeit des Menschen von der Natur oder die nachhaltige Nutzung von Ressourcen werden in diesem Zusammenhang in beiden Fachlehrplänen explizit erwähnt.

Sowohl in der 8. Schulstufe der AHS oder MS als auch in der 7. Schulstufe von wirtschaftskundlichen Gymnasien findet sich folgendes unter dem sog. Lernstoff für das Fach Chemie im ALP:

„Erkennen von Luft, Wasser und Boden als Rohstoffquelle einerseits und schützenswerte Lebensgrundlage andererseits.

Wissen um die Bedeutung, Gewinnung und Verarbeitung fossiler Rohstoffe.

Wissen um den Stellenwert von Altstoffen und deren Entsorgung oder Wiederverwertung. Prinzipielles Verstehen von Umweltproblemen als Störung natürlicher Systeme.

Erkennen der Bedeutung chemischer Methoden bei der Minimierung von Schadstoffen.

Erwerb von chemischen Grundkenntnissen in [...] Energiequellen und Energieversorgung, Verkehr und neue Technologien.“ (BGBl. II Nr. 133/2000, S. 1062)

Durch das Erkennen von Wasser, Boden und Luft als Lebensgrundlage und Rohstoffquelle ist eine Auseinandersetzung mit dem Klimawandel notwendig. Vor allem vor dem

Hintergrund, dass durch die im Kapitel 2.5. beschriebenen Auswirkungen auf den Menschen diese Lebensgrundlage zunehmend verloren geht, ist die Auseinandersetzung unerlässlich. In diesem Zusammenhang ist auch die Auseinandersetzung mit fossilen Rohstoffen, deren Verarbeitung und in weiterer Folge mit der Wiederverwertung bzw. Entsorgung von Produkten aus fossilen Rohstoffen notwendig. An diesem Punkt sind chemische Grundkenntnisse von Energiequellen, Energieversorgung und Verkehr unerlässlich, um Gründe für den Klimawandel thematisieren zu können.

Die Thematik des Klimawandels ist im NLP unter den Anwendungsbereichen der Kompetenzen, vor allem dem folgenden Punkt zuzuordnen:

„Bedeutung der Chemie für Alltag, Wirtschaft, Gesundheit und Umwelt sowie die damit verbundene Verantwortung für eine nachhaltige Zukunft“ (BGBl. II Nr. 1/2023, S. 101)

Hierbei ist zu beachten, dass dieser Anwendungsbereich in wirtschaftskundlichen Gymnasien schon in der 7. Schulstufe wiederzufinden ist. Deshalb ergeben sich auch für die 7. Schulstufe in Chemie vielfältige Berührungspunkte zur interdisziplinären Behandlung des Klimawandels.

Im Lehrplan der Biologie lässt sich die Klimaproblematik auch direkt im zentralen fachlichen Konzept der „Stoff- und Energieumwandlung“ finden. Dort heißt es:

„Lebewesen sind an Stoff- und Energieumwandlung gebunden. Organische Verbindungen werden vorwiegend von Pflanzen aufgebaut. In ökologischen Systemen durchlaufen Baustoffe und Energieträger vorwiegend geschlossene Kreisläufe. Menschliche Aktivitäten können solche Kreisläufe verändern.“ (BGBl. II Nr. 1/2023, S. 111)

Hier ist das Augenmerk besonders auf Stoff- und Energiekreisläufe zu setzen und wie menschliche Aktivitäten diese Kreisläufe verändern. Dadurch, dass der Klimawandel durch die menschlichen CO₂ – und somit Kohlenstoff - Emissionen verursacht wird, greift der Mensch hier massiv in den natürlichen Kohlenstoffkreislauf ein.

Im NLP der 8. Schulstufe in Biologie scheint die Thematik des Klimawandels in den Anwendungsbereichen des LP sogar explizit auf. So wird unter den Anwendungsbereichen der 4. Klasse der *„Globaler Kohlenstoffkreislauf, CO₂-Eintrag in die Atmosphäre, Klimawandel“* genannt (BGBl. II Nr. 1/2023, S. 112).

Aber auch in der 7. Schulstufe in Biologie bietet sich das Thema Klimawandel vor allem im Bereich der Ökosysteme an. Hier heißt es im Lehrplan bei den Anwendungsbereichen in

der 3. Klasse: „Ökologische Zusammenhänge, Biodiversität und anthropogene Einflüsse in Süßwasser Lebensräumen und im Meer“ (BGBl. II Nr. 1/2023, S. 113). Hier finden sich vor allem Berührungspunkte mit der Chemie bei Schüler*innen in der 7. Schulstufe von wirtschaftskundlichen Gymnasien, um die Folgen des Klimawandels genauer zu thematisieren.

Insgesamt lässt sich für den Fachlehrplan der Biologie sagen, dass die Behandlung der Thematik in Biologie ist unbedingt notwendig ist., weshalb sich hier gute Berührungspunkte zur Chemie ergeben.

Zusammenfassend lässt sich daher sagen, dass der Klimawandel sowohl in Chemie als auch in Biologie in dem ALP nicht explizit erwähnt wird. Dieser lässt sich hier nur in den Präambeln verorten. Die Auseinandersetzung der Schüler*innen mit der Thematik ist allerdings für das Erfüllen der vom Lehrplan vorgegebenen Ziele nicht nur zielführend, sondern auch notwendig.

Während im NLP der Klimawandel explizit nur in den Anwendungsbereichen der 8. Schulstufe in Biologie genannt wird, bietet hier aber auch der Lehrplan von Chemie genügend Möglichkeiten, das Thema im Unterricht zu behandeln. Grundsätzlich ist dennoch festzuhalten, dass die Lehrpläne dem Klimawandel bisher jedoch nicht dieselbe Bedeutung beimessen wie dieser jetzt schon in unserem Leben hat (Zbikowski 2022, S. 6).

Ausgehend vom Lehrplan von beiden Fächern ist abschließend festzustellen, dass die Thematik der Ozeanversauerung sehr gut mit beiden vereinbar ist. Durch die zahlreichen Berührungspunkte beider Disziplinen, lässt sich die Problematik der Ozeanversauerung aus den Perspektiven beider Fächer untersuchen. Hier kann die Chemie wichtige Einblicke in die Prozesse der Ozeanversauerung und die Auswirkungen auf Kalkskelette chemisch begründen. Die Biologie liefert hier tiefere Einblicke in die Auswirkungen dieser Veränderungen u.a. auf Ökosysteme.

2.7.2. Schülervorstellungen zum Klimawandel

Aus dem moderaten konstruktivistischen Lernansatz und der fachdidaktischen Literatur ist ersichtlich, dass Schüler*innen nicht als „*Tabula rasa*“ anzusehen sind. Das trifft auch darauf zu, wenn sie erstmals mit naturwissenschaftlichem Unterricht in Kontakt treten. Die Lernenden bringen ihre eigenen Konzepte und Vorwissen mit, mithilfe derer und dessen sie sich natürliche Phänomene erklären. Dieses Vorwissen entspricht oft nicht den naturwissenschaftlichen Erkenntnissen und hat sich für die Schüler*innen jedoch durch verschiedene Alltagserfahrungen „bewiesen“ (Schecker *et al.* 2018, S. 12–14). Diese Erfahrungen beeinflussen den Lernprozess von neuen Inhalten maßgeblich, wodurch auch Lernschwierigkeiten hervorgerufen werden können (Duit 1993). Deshalb wurden diese Schülervorstellungen schon früh als essentiell für einen erfolgreichen Unterricht erkannt. Zusätzlich zeigt die internationale Forschung, dass Schülervorstellungen sehr resistent gegenüber Veränderungen durch Unterricht sind (Schecker *et al.* 2018, S. 5).

Für einen didaktisch gut vorbereiteten Unterricht ist es also nicht nur notwendig, die Fachinhalte zu verstehen, sondern auch Kenntnis über das Vorwissen der Schüler*innen zu besitzen. Prinzipiell gibt es für den Umgang mit Schülervorstellungen im Unterricht nach Schecker *et al.* 2018, S. 6 zwei Konzeptionen:

Erstens, Konzeptionen welche an ausbaufähigen Schülervorstellungen anknüpfen oder vorhandene Vorstellungen umdeuten.

Zweitens, Konzeptionen wie z.B. das Conceptual-Change Modell, welche die Schülervorstellungen direkt aufgreifen und mit fachlich korrekten Konzepten konfrontieren (Duit und Treagust 2003). Dabei sollen die Präkonzepte der Schüler*innen durch Problemstellungen getestet werden. Erst wenn die Schüler*innen unzufrieden mit dem bestehenden Konzept sind, werden sie ein neues Konzept annehmen. An dieser Stelle sind noch andere Faktoren für die Annahme von neuen Konzepten wichtig, nämlich die Plausibilität, die logische Verständlichkeit und die Fruchtbarkeit (Posner *et al.* 1982).

Zusammenfassend ist deswegen festzustellen, dass den Lehrenden bewusst sein muss, dass die Lernenden naturwissenschaftliche Sachverhalte anders sehen können. Durch das unterschiedliche Vorverständnis machen Lernende andere Beobachtungen oder Schlussfolgerungen als von der Lehrkraft erwartet (Schecker *et al.* 2018). Die Rolle der

Lehrenden liegt deshalb vor allem darin, sich ein Bild vom Vorwissen der Schüler*innen zu machen und Verantwortung für die Gestaltung der Lernumgebungen zu übernehmen.

Im Folgenden wird daher ein kurzer Überblick über bekannte Schülervorstellungen zum Klimawandel gegeben.

In einer Studie in Indien haben Chhokar *et al.* (2011) herausgefunden, dass 90% der befragten Schüler*innen glauben, dass der Klimawandel existiert und 82% sehr besorgt oder zumindest besorgt über diesen sind. In einer australischen Studie von Skamp *et al.* (2013) gaben jedoch nur die Hälfte der Schüler*innen an zu glauben, gut über diesen informiert zu sein.

Beim Treibhauseffekt konnten in verschiedenen Studien viele unterschiedliche Vorstellungen zum Treibhauseffekt beobachtet werden. So stellten Koulaidis und Christidou (1999) in einer Studie mit griechischen Schüler*innen fest, dass knapp unter 30% der Befragten den Treibhauseffekt mit der Bildung einer Gasschicht in der Atmosphäre beschreiben. Diese Gasschicht lässt Sonnen- und Wärmestrahlung durch und wärmt so die Oberfläche der Erde und die darüberliegende Atmosphäre. Diese Gasschicht erlaubt es der Wärme aber nicht, wieder zu entweichen. 40% der Befragten gaben an, dass der Treibhauseffekt durch die Luftverschmutzung verursacht wird, wodurch die Luft schlecht rieche und das Wetter sich verändere (Koulaidis und Christidou 1999, S. 568–569).

Hier ist zu erwähnen, dass ein Teil dieser Schüler*innen die Ozonschicht zusammen mit diesem Phänomen verknüpft. Ähnliche Beobachtungen wurden bei einer Studie durch Mauthner (2010, S. 137) beobachtet, wo auch nach einer Intervention die Ozonschicht mit dem Klimawandel verknüpft wurde. Zu ähnlichen Erkenntnissen kam auch eine Befragung von Schüler*innen einer 8. Schulstufe durch Golser (2021). So war einerseits das Modell vertreten, dass Treibhausgase den Treibhauseffekt generieren, da sie die Ozonschicht zerstören und, dass die Ozonschicht selbst für die Reflexion der von der Erde stammende Strahlung verantwortlich ist (Golser 2021, S. 52–53).

Einige Schüler*innen haben die Klimaveränderung auch gar nicht mit ihrem täglichen Leben verbunden und glauben nicht, dass der Klimawandel einen großen Einfluss auf sie und die Gesellschaft haben wird (Shepardson *et al.* 2011). Andere Schüler*innen der Studie haben sehr wohl schwerwiegende Folgen für die Umwelt, wie Überschwemmungen oder Dürren

genannt. Jedoch haben die meisten die komplexen Beziehungen zwischen den Organismen der Biosphäre nicht berücksichtigt.

In der Arbeit von Golser (2021, S. 82) wird außerdem gezeigt, dass die Lernenden hauptsächlich Veränderungen des Klimas in Folge der globalen Temperaturerhöhung nennen. Die Veränderung von Biodiversität und Umwelt durch den Klimawandel wird vorwiegend von Lernenden der 11. Schulstufe erwähnt.

In einer anderen Studie aus den USA von Danielson und Tanner (2015), mit speziellem Fokus auf die Versauerung der Ozeane, wurde festgestellt, dass die Versauerung der Ozeane nur selten als Auswirkung des Klimawandels genannt wird. So wurde bei Studenten aus Biologie, Chemie und Umweltwissenschaften die Ozeanversauerung von nur jeweils 12%, 7% und 37% der Studenten genannt. Interessanterweise wurde dieser Aspekt auch nur von 58% der Befragten der Fakultät genannt. Zusätzlich dazu zeigte diese Studie, dass 28% der Biologiestudierenden, 22% der Chemiestudierenden und 19% der Studierenden der Umweltwissenschaften die Versauerung der Ozeane auf Verschmutzung durch sauren Regen oder das Einleiten chemischer Abfälle zurückführen (Danielson und Tanner 2015).

2.7.3. Die naturwissenschaftliche Grundbildung / Scientific Literacy

Die naturwissenschaftliche Grundbildung ist die Übersetzung des angelsächsischen Begriffs der *Scientific Literacy*. Dieser Ansatz spielt eine wichtige Rolle in der Legitimation naturwissenschaftlichen Unterrichts, da die moderne Gesellschaft stark technologisch und naturwissenschaftlich geprägt ist (Gebhard *et al.* 2017, S. 39). Folglich setzt eine gesellschaftliche Partizipation auch eine naturwissenschaftliche Bildung voraus (Gräber *et al.* 2002). Der Begriff der *Scientific Literacy* ist im englischsprachigen Raum und in der fachdidaktischen Literatur schon länger bekannt. So stellte der Science Council von Kanada bereits 1984 folgendes fest:

“Science education must be the basis for informed participation in a technological society, a part of a continuing process of education, a preparation for the world of work, and a means for students' personal development.” (Science Council of Canada 1984, S. 18)

Den Einzug in die Politik im deutschsprachigen Raum ist höchstwahrscheinlich dem mittelmäßigen Abschneiden von deutschen und österreichischen Schüler*innen bei den PISA Studien 2000 und 2003 zu verdanken. Hier wurde zusätzlich festgestellt, dass die

Spannweite zwischen den Besten und Schwächsten sehr hoch und auch die Verteilung zwischen Mädchen und Burschen sehr unterschiedlich war (KMK 2002). In Folge dessen wurde zunächst in Deutschland durch die Kultusministerkonferenz die Einführung einheitlicher, nationaler Bildungsstandards beschlossen (Klieme *et al.* 2003). Sie geben vor, welche naturwissenschaftlichen Kompetenzen Schüler*innen beim Abschluss der Schule erreicht haben sollen.

In Österreich wurde 2003 vorerst eine Kommission für die Entwicklung von einheitlichen Bildungsstandards eingesetzt, welche schließlich im Jahr 2008/2009 umgesetzt wurden (BGBl. II Nr. 1/2009; Wiesner und Schreiner 2017).

„Naturwissenschaftliche Bildung ermöglicht dem Individuum eine aktive Teilhabe an gesellschaftlicher Kommunikation und Meinungsbildung über technische Entwicklungen und naturwissenschaftliche Forschung und ist deshalb wesentlicher Bestandteil von Allgemeinbildung.“ (KMK 2005, S. 6)

In Deutschland ist dieses Zitat in den Bildungsstandards aller Naturwissenschaften zu finden und beschreibt, wie auch der Science Council von Kanada, ein Ziel der naturwissenschaftlichen Grundbildung. Um dieses zu erreichen ist jedoch Fachwissen alleine nicht ausreichend, um die Zusammenhänge zwischen der Wissenschaft, den Technologien, der Gesellschaft, der Ökonomie und der Umwelt zu begreifen. Deswegen ist Fachwissen alleine auch nicht ausreichend um beim gesellschaftlichen Diskurs partizipieren zu können (Klieme *et al.* 2003, S. 164).

Im Vordergrund der naturwissenschaftlichen Grundbildung steht also die Entwicklung von Fähigkeiten und Fertigkeiten – den Kompetenzen – welche die Partizipation in einer technologisch und naturwissenschaftlich geprägten Gesellschaft ermöglichen. Hierbei ist das Erkennen von naturwissenschaftlichen Problemstellungen und das Anwenden des naturwissenschaftlichen Wissens im Rahmen dieser unerlässlich.

Aber nicht nur für die gesellschaftliche Teilhabe, sondern auch für den Alltag ist die naturwissenschaftliche Grundbildung heute von essentieller Bedeutung für Schüler*innen. Durch die große Menge an Informationen, welche im Alltag u.a. auch über soziale Medien auf uns einwirken, müssen Schüler*innen naturwissenschaftliche von unwissenschaftlichen Informationen unterscheiden können.

Das OECD-Projekt-2012 (Prenzel *et al.* 2013, S. 191–192) definiert *Scientific Literacy* wie folgt:

„... die Fähigkeit einer Person,

- *naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, um Fragestellungen zu erkennen, sich neues Wissen anzueignen, naturwissenschaftliche Phänomene zu beschreiben und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen,*
- *die charakteristischen Eigenschaften der Naturwissenschaften als eine Form menschlichen Wissens und Forschens zu verstehen,*
- *zu erkennen und sich darüber bewusst zu sein, wie Naturwissenschaften und Technik unsere materielle, intellektuelle und kulturelle Umwelt formen,*
- *sowie die Bereitschaft, sich mit naturwissenschaftlichen Ideen und Themen zu beschäftigen und sich reflektierend mit ihnen auseinanderzusetzen“*

Nach Gräber *et al.* 2002 besteht eine naturwissenschaftliche Grundbildung vorwiegend aus 3 Dimensionen (vgl. Abb. 8): einer Wissensdimension, einer Handlungsdimension und einer Bewertungsdimension. Die Wissensdimension umfasst fachliche und inhaltliche Kompetenzen, wie auch Kompetenzen im Bereich der Natur der Naturwissenschaften (epistemologische Kompetenz). Hierfür ist Wissen über den naturwissenschaftlichen Erkenntniswegs erforderlich (Lederman und Lederman 2012). Die Handlungsdimension beinhaltet u.a. Kompetenzen im Bereich der naturwissenschaftlichen Praxis, wie dem Planen, dem Durchführen, dem Analysieren und dem Bewerten von Experimenten. Zusätzlich sind soziale und kommunikative Kompetenzen notwendig um u.a. Problemstellungen im Team lösen und naturwissenschaftlich argumentieren zu können.

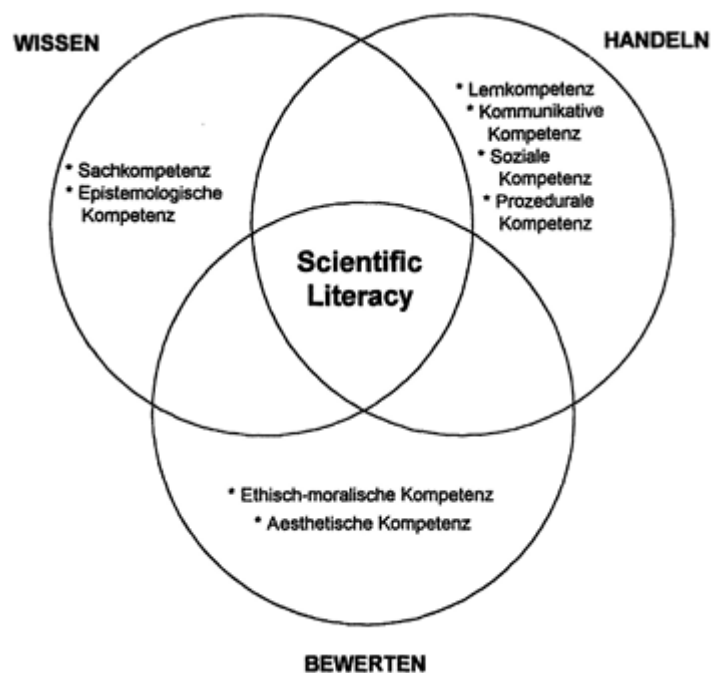


Abb. 8: Das Modell der *Scientific Literacy* / naturwissenschaftlichen Grundbildung nach Gräber *et al.* 2002. *Scientific Literacy* umfasst nicht nur die Wissensdimension, sondern auch eine Handlungs- und Bewertungsdimension. Die Schnittmenge aller 3 Dimensionen kann als *Scientific Literacy* betrachtet werden. Kompetentes Handeln und Bewerten setzt immer auch das notwendige Fachwissen und die Vernetzung dieses Fachwissens voraus.

Die Bewertungsdimension umfasst sowohl ethisch-moralische Kompetenzen, welche u.a. bei der politischen Entscheidungsfindung benötigt werden und eine ästhetische Kompetenz. Diese kann nach Gräber u.a. auch eine Faszination für naturwissenschaftliche Phänomene beschrieben werden.

Vor allem in den letzten beiden Dimensionen ist inhaltliches Wissen alleine nicht ausreichend, da u.a. auch Kompetenzen im Bereich der *nature of science* benötigt werden.

Die Auswirkungen des Klimawandels für unser Leben sind heute nicht mehr von der Hand zu weisen. Diese multidisziplinäre Problematik kann nur durch neue technologische Entwicklungen eingedämmt werden. Hier müssen bei der Adaptierung z.B. ökologische und/oder ökonomische Aspekte gegeneinander abgewogen werden. Im Rahmen des gesellschaftlichen Diskurses zum Klimawandel benötigen Schüler*innen besonders an dieser Stelle Kompetenzen im Bereich der *nature of science*. Gerade aufgrund der komplexen Verknüpfungen zu anderen Disziplinen, bietet sich die Thematik des Klimawandels für die Förderung naturwissenschaftlicher Grundbildung im Chemieunterricht an.

2.7.4. Das naturwissenschaftliche Kompetenzmodell

Um Kompetenzen von Schüler*innen mess- und überprüfbar machen zu können, wird ein wissenschaftliches Modell benötigt. So wurde sowohl in den Bildungsstandards in Deutschland und in Österreich das Kompetenzmodell eingeführt. Bevor jedoch genauer auf das Kompetenzmodell eingegangen werden kann, muss der Kompetenzbegriff geklärt werden.

Nach Weinert versteht man Kompetenzen als „... *die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können.*“ (Weinert 2001, S. 27)

Kompetenzen bezeichnen das komplexe Zusammenspiel von Fähigkeiten, Fertigkeiten und Haltungen. Sie sind *per se* nicht messbar, sondern nur das Handeln einer Person kann als kompetent oder weniger kompetent bewertet werden. Diese Bewertung ist allerdings nur

mithilfe eines Bezugsrahmens bzw. eines Modells, dem diese Bewertung zugrunde liegt, möglich (Hopf *et al.* 2017).

Kompetenzmodelle sind also wissenschaftliche, prozessorientierte Konstrukte, welche den Erwerb von fachspezifischen und fächerübergreifenden Bildungsstandards auf fachdidaktische und systematische Gesichtspunkte stützt (BGBl. II Nr. 1/2009). Sie erlauben es Aussagen zu treffen, welche Handlungen und Denkweisen beim Erreichen einer Kompetenzstufe wahrscheinlich korrekt ausgeführt werden. So ermöglichen die Kompetenzmodelle vor allem für die empirische Überprüfbarkeit der erworbenen Kompetenzen (Klieme *et al.* 2003; Nerdel 2017).

Das naturwissenschaftliche Kompetenzmodell umfasst grundsätzlich 3 Dimensionen: die Inhaltsdimension, die Handlungsdimension und die Anforderungsdimension. Die Handlungsdimensionen sind in den Naturwissenschaften sehr ähnlich, da die zugrundeliegenden wissenschaftlichen Methoden ähnlich sind. Dadurch sind auch die zu erwartenden Handlungskompetenzen sehr ähnlich (Sormann 2011, S. 22). Bei den Handlungsdimensionen hat man sich in Österreich auf drei geeinigt, in welchen die Lernenden in der Schule Kompetenzen erwerben sollen. Diese sind in die Bereiche Wissen organisieren (W), Erkenntnisse gewinnen (E) und Schlüsse ziehen (S) gegliedert. In jedem Bereich sind 4 Kompetenzen formuliert, welche die Schüler*innen im Rahmen des Unterrichts erwerben sollen.

Die Inhaltsdimensionen setzen Schwerpunkte in den naturwissenschaftlichen Fächern und sind im Lehrplan unter den Anwendungsbereichen definiert. Die Anforderungsdimension wird in 3 Niveaustufen (N1-N3) unterteilt, wobei sich in den höheren Anforderungsstufen der Grad an Selbstständigkeit der Schüler*innen erhöht. Während es in der Anforderungsdimension 1 um reine Reproduktion geht, wird in der Anforderungsdimension 3 weitgehend selbstständiges Handeln von den Schüler*innen erwartet. Das Kompetenzmodell für den Chemieunterricht wurde mit dem NLP durch ein 2-dimensionales Kompetenzmodell ersetzt, bei welchem die Anforderungsdimension entfällt (Hofer, *et al.* 2023, S. 4).

Im Gegensatz zu Kompetenzmodellen in anderen Unterrichtsfächern setzt das naturwissenschaftliche Modell als Basis für kompetentes Handeln ein

naturwissenschaftliches Wissen voraus. Hier sei noch erwähnt, dass der Kompetenzbegriff nach Weinert auch Motivation und soziale Bereitschaft für die Nutzung der Fertigkeiten beinhaltet. Diesem Aspekt wird im derzeitigen Modell jedoch keine Dimension zugeordnet (Hopf *et al.* 2017).

2.7.5. Das Modell des vollständigen Wissens

Wie schon in Kapitel 2.7.2. erwähnt, basiert jegliches Wissen immer auf der Integration von neuem Wissen in vorangegangene Konzepte und Erfahrungen. Dieser Prozess der Wissensgenerierung ist ein höchst individueller Prozess.

Nach dem Modell des vollständigen Wissens nach Neber (1993, 2006) ist Faktenwissen selbst ein strukturell unvollständiges Wissen. Es muss durch weitere Komponenten erweitert werden, um daraus ein so genanntes Funktionales Wissen oder nutzbares Wissen zu erhalten.

Dafür benötigt es zwei zusätzliche Wissensaspekte, das Konditionswissen und das Funktionswissen. Das Konditionswissen verknüpft die Fakten mit den Anwendungsvoraussetzungen, also Bedingungen für eine (oft) innerfachliche Anwendung des Wissens. Das Funktionswissen umfasst Wissen von Nutzungszielen, welche auch außerhalb der Wissensdomäne, also transdisziplinär, erreicht werden können (Neber 1993, 2006 nach Anton 2019, S. 29).

Liegt den Schüler*innen kein Nutzungswissen vor, erkennen sie jedoch nicht, wofür das Faktenwissen auch transdisziplinär angewendet werden kann. Ein Faktenwissen, welches um Konditions- und Funktionswissen erweitert wurde, wird auch als „Objektwissen“ bezeichnet. Der Nutzen eines vollständigen Objektwissens liegt vor allem darin, dass Lernende dadurch in der Lage sind, Problemstellungen kontextbezogen zu lösen (Anton 2019, S. 30).

Ein weiteres für den Unterricht relevantes Wissensmodell ist das Modell des intelligenten Wissens nach Weinert (1998). Weinert unterscheidet in diesem Modell 3 Mechanismen, um so genanntes Intelligentes Wissen aufzubauen. Dieses ist ein organisiertes System aus disziplinären und transdisziplinären Fähigkeiten und Fertigkeiten

- 1) Der vertikale Wissenstransfer erleichtert Wissenstransfer innerhalb einer Domäne bzw. eines Unterrichtsfachs. Als Methoden sind hier vor allem lehrergesteuerter und schülerzentrierter Unterricht förderlich.
- 2) Der horizontale Wissenstransfer vermeidet so genanntes „träges Wissen“. Dieses ist in sich eingekapselt und somit für den Lernenden nicht nutzbares Wissen. Durch den horizontalen Wissenstransfer sollen relevante Informationen möglichst kreativ, aktiv und sozial eingebettet werden (Hofmann 2008, nach Anton 2019, S. 31) und anhand von transdisziplinären (vgl. Kapitel 2.7.7.) Aufgaben verarbeitet werden.
- 3) Der laterale Wissenstransfer bewirkt die schulunabhängige Anwendung des in der Schule erworbenen Wissens bzw. der Fertigkeiten. Erst dieser ermöglicht ein Erreichen der allgemeinen Bildungsziele des Lehrplans.

Nach Weinert und Helmke (1993) erfolgt eine Übertragung von fachspezifischem Wissen grundsätzlich nicht automatisch auf andere Unterrichtsfächer. Das bedeutet für Unterrichtsfächer prinzipiell, dass fachspezifisches Wissen in diesem Fach erworben werden muss.

Bezogen auf die naturwissenschaftliche Grundbildung bedeutet das, dass naturwissenschaftliche Grundbildung nur durch die Vervollständigung des Wissens anhand von Konditionswissen und Funktionswissen erreicht werden kann. Dafür benötigt es sowohl horizontalen, als auch lateralen Wissenstransfer. Der Klimawandel bietet sich hier durch die Vernetzung mit vielen verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen gut an, um horizontalen und lateralen Wissenstransfer zu ermöglichen.

2.7.6. Die didaktische Rekonstruktion

Wie schon in den vorangegangenen Kapiteln angedeutet, genügen fachliche Überlegungen alleine nicht, um einen guten Unterricht für die Lernenden zu planen. Hierbei ist zunächst anzumerken, dass sich die Sachstruktur der Wissenschaft klar von der des Unterrichts unterscheidet. Aufgabe der Lehrperson ist es, anhand der wissenschaftlichen Sachstruktur (Begriffe, Prinzipien und der Vorstellungen über die Wissenschaft) die Sachstruktur des Unterrichts zu entwickeln (Duit 2004).

Hierfür ist es notwendig, das Vorwissen und die Präkonzepte der Schüler*innen mit den fachlichen Konzepten wechselseitig zu verknüpfen. Ein Modell, welches hierfür verwendet werden kann, ist das Modell der didaktischen Rekonstruktion.

Bei der Entwicklung von Unterricht nach der didaktischen Reduktion werden 3 miteinander in Beziehung stehende Komponenten aufeinander bezogen: die fachliche Klärung, die Erfassung von Schülervorstellungen und die didaktische Strukturierung bzw. das Design von Lernangeboten (Abb. 8). Erst das wechselseitige Verknüpfen der fachlichen Inhalte mit den Lernerperspektiven erlaubt es, aus den fachwissenschaftlichen Inhalten ein Unterrichtsfach zu entwickeln (Kattmann *et al.* 1997, S. 4).

Die Planung der Lernumgebung durch die didaktische Strukturierung baut auf den beiden anderen Komponenten auf und schafft dadurch adäquate Lernangebote für die Schüler*innen. Im Gegenzug begrenzt aber die didaktische Strukturierung auch die fachlichen Inhalte und die Bereiche, welche von Schülervorstellungen erfasst werden (Kattmann *et al.* 1997, S. 5). Dabei können gesellschaftliche oder individuelle Bezüge zu den fachlichen Konzepten hergestellt werden, da Fachwissen alleine nicht unverändert im Unterricht übernommen werden kann (Kattmann *et al.* 1997).

Hierbei ist auch zu erwähnen, dass u.a. fachliche und fachübergreifende Aspekte zu berücksichtigen sind, welche für Forschende in diesem Gebiet vorausgesetzt werden können. Dadurch soll die Bedeutung der fachlichen Konzepte für das Leben in der

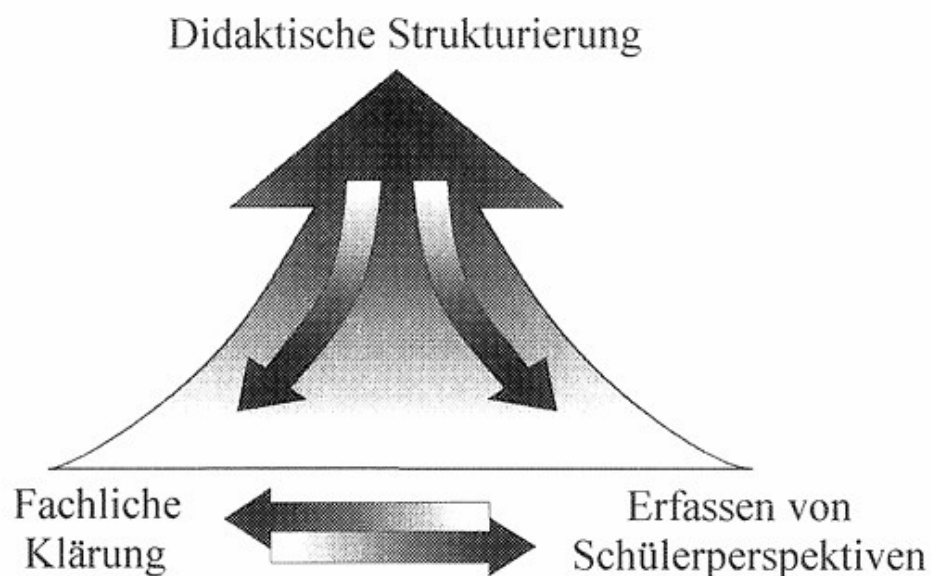


Abb. 9: Das Modell der didaktischen Rekonstruktion mit dem fachdidaktischen Triplet nach Kattmann et al. 1997. Die didaktische Strukturierung einer Unterrichtseinheit erfordert das Erfassen der Schülervorstellungen genauso wie eine Klärung der fachlichen Inhalte. Mithilfe beider Perspektiven wird eine Unterrichtseinheit strukturiert, wobei alle 3 Dimensionen miteinander in Wechselbeziehung stehen.

Gesellschaft sowie in der belebten als auch unbelebten Natur verdeutlicht werden. Der Unterrichtsgegenstand wird deshalb - in vielen Fällen –noch komplexer und nicht nur fachlich reduziert. Die zusätzliche Komplexität des Unterrichtsgegenstands ist aber für die Lernenden notwendig, um durch den Bezug zur Lebenswirklichkeit der Lernenden ein bedeutungsvolles Lernen zu ermöglichen (Kattmann 2007, S. 100).

2.7.7. Disziplinarität, Interdisziplinarität und Transdisziplinarität

Im Zuge von interdisziplinärem Unterricht müssen zuerst einige Begriffe erklärt werden: Disziplinen, Interdisziplinarität und Transdisziplinarität.

Disziplinen strukturieren das Bildungssystem, sowie Forschung und die akademische Lehre und bilden so eine Innendifferenzierung des Wissenschaftssystems. Eine wissenschaftliche Disziplin kann als kognitives System verstanden werden, welchem dieselben Begriffe, Theorien und Methoden als Grundlage dienen. Sie ist durch eine wissenschaftliche Gemeinschaft von Spezialisten geprägt, welche ihre Forschungstätigkeit auf das Gebiet dieser Disziplin konzentrieren, wobei sich die wissenschaftliche Disziplin durch Kommunikation und der Entstehung von neuen Theorien oder Varianten von Theorien in einem ständigen Weiterentwicklungsprozess befindet (Rödger 2021, S. 67; Stichweh 2021). An dieser Stelle sollte klar sein, dass diese Disziplinen nicht naturgegeben sind, sondern deren Entstehung natürlich stark von der Wissenschaftsgeschichte und auch von nationalen Kontexten wie Politik und Gesellschaft geprägt ist (Stichweh 2021; Wissenschaftsrat 2020). Disziplinen können anhand von ähnlichen Merkmalen, wie der typischen Forschungsweise, in Disziplin-klassen unterteilt werden (Natur-, Geistes- und Sozialwissenschaften) (Stichweh 2021).

Interdisziplinarität kann als fachübergreifende Wissenschaft verstanden werden. Hierbei werden disziplinäre Grenzen überschritten, um neue Fragestellungen beantworten zu können. Dabei entstehen neue Methoden und es wird neues Wissen generiert und Wissensgebiete erschlossen. Hier ist wichtig anzumerken, dass Interdisziplinarität in diesem Fall nicht eine bloße Kooperation zwischen Disziplinen darstellt, sondern sie erfordert von den Forschenden die Aneignung von Wissen, Methoden und Begriffen außerhalb der eigenen fachlichen Domäne, die weit über einen reinen Im- und Export hinaus reicht.

*„Interdisziplinär kann erfolgreich nur arbeiten, wer zugleich fachdisziplinär arbeitet“
(Norbert Horn, zitiert in Rödder 2021, S. 74)*

Dadurch soll verdeutlicht werden, dass zuerst die fachlichen Grundlagen der einzelnen Disziplinen vorhanden sein müssen, bevor interdisziplinäre Problemstellungen behandelt werden können. Dies gilt es genauso für den Schulunterricht zu berücksichtigen, da die Schüler*innen fachwissenschaftliche Kompetenzen benötigen, um diese in interdisziplinären Problemstellungen anwenden zu können.

Neben dem Begriff Interdisziplinarität ist in den 80er Jahren auch der Begriff der Transdisziplinarität, unter anderem auch im Zusammenhang mit Klimaforschung, aufgekommen (Wissenschaftsrat 2015). Dieser wird oft synonym mit Interdisziplinarität verwendet, jedoch bezeichnet Transdisziplinarität nach dem Wissenschaftsrat (2020) eine besondere Form von Wissensgenese, wobei institutionelle und epistemische Grenzen von Wissenschaft überschritten werden und wobei Wissenschaftler*innen mit „... nicht-akademischen Wissensproduzenten aus Unternehmen, Verbänden, der Zivilgesellschaft zusammenwirken“ (Wissenschaftsrat 2020, S. 16–17).

2.7.8. Anwendung im Unterricht

Im Unterricht wie in der Lehre verlangt Interdisziplinarität bewusste Aneignungsprozesse von Begrifflichkeiten, Methoden und Wissen über das eigene Unterrichtsfach hinaus. So sollten allein schon die Lehrpläne interdisziplinären Inhalten Rechnung tragen. Die Lehrenden müssen sich über geeignete didaktische Methoden und über die in den jeweils anderen Fächern verwendete Begrifflichkeit verständigen. Die Überschreitung des Horizonts der eigenen Disziplin ermöglicht so eine neue Perspektive der eigenen Disziplin, deren Methoden und Kultur und fördert dadurch die Reflexion der eigenen Disziplin (Wissenschaftsrat 2020, S. 15).

In weiterer Folge kann Transdisziplinarität als das allgemeine Bildungsziel von Schule verstanden werden. Indem die Lernenden ihre Kompetenzen auch außerhalb der Disziplinen, in gesellschaftlichen, politischen und alltäglichen Kontexten anwenden können, schafft Transdisziplinarität die Grundlage für den gesellschaftlichen und politischen Diskurs.

Der interdisziplinäre Unterricht eignet sich deswegen besonders für die Förderung naturwissenschaftlicher Arbeits- und Denkweisen und weiterer überfachlicher Kompetenzen, wie sie im neuen Lehrplan der Sek I definiert sind. So kann auch auf Grenzen der Fächer oder Geltungsbereiche von Modellen eingegangen werden.

Im Zusammenhang mit Schule müssen im Zuge des interdisziplinären Unterrichts folgende Arten des Unterrichts unterschieden werden: der Fachunterricht, fachüberschreitender Unterricht, fächerverknüpfender Unterricht und fächerkoordinierter Unterricht (Labudde und Schecker 2021, S. 439).

Fachunterricht bezeichnet den traditionellen Unterricht mit einem strukturierten Aufbau und Fachwissen, welches in einem fachspezifischen System geordnet wird. Bei dieser Unterrichtsform sind die Anteile anderer Disziplinen am Fachunterricht nur sehr gering.

Die erste Form der Steigerung ist der fachüberschreitende Unterricht. Dieser Unterricht zielt schon auf die Anwendung von Fachwissen außerhalb des eigenen Fachs ab. Dabei werden die Grenzen des Ausgangsfaches überschritten, da Kompetenzen aus einem Fach in einem anderen Fach Anwendung finden (Labudde und Schecker 2021, S. 438–440). Dadurch ist diese Form des Unterrichts besonders für das Erweitern komplexer fachlicher Kontexte über die Fachgrenzen hinaus wirksam. An dieser Stelle ist der Anteil eines anderen Fachs am chemischen Fachunterricht jedoch auch noch gering. Dennoch lassen sich hiermit bei komplexen Themen wie dem Klimawandel Verknüpfungen zwischen den Fächern bilden.

Fächerverbindender Unterricht bezeichnet den Erwerb von fachlichem und methodischem Wissen, um komplexe fachübergreifende Problemstellungen bearbeiten zu können. Hier werden Konzepte oder Methoden, welche mehreren Fächern zugrunde liegen, systematisch zueinander verbunden. Diese Art des Unterrichts ist ein häufig geprägter Typ des fächerübergreifenden Unterrichts bspw. in Integrationsfächern wie Science oder Naturwissenschaften und bietet sich bei der Vorbereitung von Projektwochen an. Im Regelunterricht erfordert diese Form des Unterrichts vor allem eine enge Koordination mit dem anderen Fach bzw. Fächern (Labudde und Schecker 2021, S. 449).

Beim fächerkoordinierten Unterricht steht im Mittelpunkt des Unterrichts immer eine Problemstellung. Diese Problemstellung wird unter Einbezug mehrerer Fächer bearbeitet, wobei Lösungsansätze erarbeitet und evtl. umgesetzt und evaluiert werden. Der Unterschied zu den weiteren Methoden von interdisziplinärem Unterricht ist vor allem, dass es während des gesamten Unterrichts zu einer Koordination zwischen allen beteiligten Fächern kommt. Diese Form von interdisziplinärem Unterricht ist in der Praxis ohne die richtige Strukturierung am schwierigsten umzusetzen. Hier bieten sich vor allem Wahlpflichtfächer oder Projekttag an (Labudde und Schecker 2021, S. 438–440).

In weiterer Folge werde ich mich auf den fachüberschreitenden Unterricht konzentrieren, da dieser im Gegensatz zu fachkoordiniertem oder fachverbindendem Unterricht in der Praxis leichter realisierbar ist.

2.8. Ziel der Arbeit und Fragestellungen

Nach Neber (siehe Kapitel 2.7.5.) ist Faktenwissen alleine strukturell unvollständig und die Vervollständigung ist nur durch das Erlangen von Konditions- und Funktionswissen möglich. Dieses Konditions- und Funktionswissen ist es, welches es Lernenden ermöglicht, eigenverantwortlich zu handeln und zur Bildung von Demokratiefähigkeit und der Mündigkeit beiträgt. Die Demokratiefähigkeit und die Teilhabe am gesellschaftlichen Diskurs sind Teile der allgemeinen Bildungsziele von Schule und benötigen vor allem in den Naturwissenschaften eine naturwissenschaftliche Grundbildung (siehe Kapitel 2.7.1).

Für die Bildung von Funktionswissen benötigt es angemessene Lehr-Lern-Situationen, welche die Anwendung von innerfachlichem Wissen auch außerhalb der Domäne ermöglichen. Aus diesem Grund bietet sich hier in der Schule besonders interdisziplinärer Unterricht an, welcher einen lateralen Wissenstransfer (nach Neber) und damit die Bildung von Funktionswissen ermöglichen soll.

Durch die Komplexität des Klimawandels, welche Fachwissen aus allen Bereichen der Naturwissenschaften erfordert, bietet sich diese Thematik gut an, um Schüler*innen Kompetenzen im Bereich der naturwissenschaftlichen Grundbildung zu vermitteln.

- 1) Dabei stellt sich die Frage, ob durch interdisziplinären Unterricht in der Sekundarstufe I im Rahmen des Chemieunterrichts die naturwissenschaftliche Grundbildung gefördert wird.
- 2) Dazu kommt die Frage, ob die interdisziplinäre Behandlung der Ozeanversauerung als Auswirkung des Klimawandels im Rahmen des Unterrichtes über Säuren und Basen einen umsetzbaren Rahmen für das Erreichen von *Scientific Literacy* liefert.

Zur ersten Fragestellung kann die Hypothese aufgestellt werden, dass interdisziplinärer Unterricht für bildungswirksamen Unterricht des Konzepts der *Scientific Literacy* förderlich ist. Wie schon in Kapitel 2.7.3 formuliert, besteht der Ansatz von *Scientific Literacy* darin, dass Schüler*innen auch Kompetenzen erwerben, welche es Ihnen ermöglicht, Fachwissen auf andere Bereiche zu übertragen. Diese Kompetenzen sind nicht von Beginn vorhanden, sondern müssen durch didaktisch gut vorbereitete Lernumgebungen von den Schüler*innen erlernt werden. Daraus kann geschlossen werden, dass Kompetenzen der *Scientific Literacy* im interdisziplinären Unterricht noch besser gefördert werden können. Jedoch soll hier auch erwähnt sein, dass interdisziplinärer Unterricht alleine Kompetenzen der *Scientific Literacy* nicht automatisch fördert. Während fächerübergreifende Kompetenzen leichter unterrichtet werden können, müssen Lehrpersonen diese in geeigneten Lernumgebungen einbetten.

Dabei stellt sich die Frage, ob der Unterricht der Säuren und Basen in der Sekundarstufe für dieses Thema einen geeigneten Rahmen liefert. Während der Klimawandel an vielen Stellen im Unterricht eingebettet werden kann, ist die Ozeanversauerung eine Thematik, durch die Schüler*innen einfache chemische Konzepte mit fachübergreifenden Inhalten aus der Biologie verbinden können.

Ziel dieser Arbeit ist deswegen die Entwicklung eines interdisziplinären Unterrichtskonzepts zum Klimawandel, mit speziellem Schwerpunkt auf die Versauerung der Ozeane, anhand dessen die Kompetenzen der naturwissenschaftlichen Grundbildung gefördert werden können.

3. Planung einer Unterrichtseinheit zum Klimawandel mit interdisziplinären Schwerpunkten

Wie in den vorherigen Kapiteln ausgeführt, lässt sich die geplante Unterrichtseinheit gut im Rahmen der Säure-Basen Chemie in der Sekundarstufe I verwirklichen. Zusätzlich wäre es von Vorteil, wenn zu diesem Zeitpunkt Verbrennungsreaktionen im Rahmen des Chemieunterrichts schon besprochen wurden.

Die Unterrichtskonzept setzt sich aus 3 aufeinander aufbauenden Unterrichtseinheiten zusammen, wobei die erste Einheit die Reaktion von Nichtmetalloxiden und Metalloxiden mit Wasser durch Demonstrationsexperimente behandelt. Diese kann direkt an die Einführung von Säuren und Basen angeschlossen werden. Jedenfalls wird für dieses Unterrichtskonzept vorausgesetzt, dass die Schüler*innen bereits ein Grundwissen zu Säuren und Basen besitzen.

Die zweite Einheit soll den Schüler*innen einen Einblick in den Klimawandel geben und im speziellen auf die pH-senkende Wirkung von CO_2 geben. Hier sollen sie über die Verbrennung von CO_2 zu der Entstehung einer sauren Lösung hingeführt werden. Dadurch soll den Schüler*innen die Versauerung der Ozeane durch den CO_2 Eintrag sichtbar gemacht werden. An dieser Stelle lässt sich leicht ein Schülerversuch durchführen. Hierbei soll auch auf die Schülervorstellung eingegangen werden, dass die Ozeanversauerung vor allem durch Verschmutzung oder das Einleiten von Industrieabwässern verursacht wird. Zum Abschluss der Einheit soll die Wirkung einer sauren Lösung auf Kalk sichtbar gemacht werden. Hierbei wird jedoch nicht genauer auf das Ionengleichgewicht im Meerwasser und der damit verbundenen Senkung der Carbonatkonzentration eingegangen.

In der dritten Einheit sollen die Schüler*innen mithilfe der Mystery Methode selbstständig die Vernetzungen der einzelnen Thematiken aufbauen und diese mit der Biologie verknüpfen.

Die Mystery Methode erlaubt es Lehrenden, eine problemorientierte Lernumgebung zu schaffen, in welcher die Schüler*innen eine widersprüchliche Aussage auflösen müssen (Fridrich 2015; Schuler 2012). Dazu erhalten sie ungeordnete Informationen zu dieser Aussage, welche zuerst geordnet und strukturiert werden müssen. Im Anschluss müssen die Schüler*innen diese Informationen analysieren und miteinander verknüpfen. Dadurch, dass die Schüler*innen neue Informationen mit altem Wissen verknüpfen müssen und

dieses Wissen auf ein neues Problem anwenden müssen, soll hiermit die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Grundbildung gefördert werden. Nach Neber (1993) bauen die Schüler*innen so ein vollständiges Wissen auf, welches eine Anwendung von Fachwissen auf neue Problemstellungen erlaubt.

Besonders im Chemieunterricht bietet sich an dieser Stelle auch das Experiment an, um Schüler*innen den naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg zu verdeutlichen und Versuche so direkt in den Problemlöseprozess zu integrieren (Eilks und Marks 2018). Zu diesem Zweck sollen im Verlauf des Mysterys 2 Stationen bearbeitet werden, welche den Schüler*innen die Senkung des pH-Werts durch gelöstes CO₂ und dessen Wirkung auf Kalk verdeutlichen.

Als Produkt sollen die Schüler*innen am Ende des Mysterys eine Art Concept-Map erstellt haben, welche die Problematik beschreibt und eine Auflösung zu der widersprüchlichen Aussage am Beginn liefert.

Im Anschluss an diese letzte Einheit kann der Klimawandel mit den Schüler*innen noch im Detail besprochen werden. Diese Unterrichtskonzeption wird sich aber nur auf eine Auswirkung des Klimawandels, nämlich der Ozeanversauerung beschränken, da die weitere Thematik den Rahmen der Säure-Basen-Chemie sprengen würde und zeitlich in der Schule voraussichtlich nicht umsetzbar ist.

Anhand des Ziels dieser Arbeit werden die dabei zu fördernden/erlernbaren Kompetenzen zum Teil die Förderung von naturwissenschaftlicher Grundbildung im Fokus haben.

Die erstellte Unterrichtseinheit mit allen Materialien ist im Anhang der Arbeit zu finden.

Die Lehr/Lern-Ziele der gesamten Unterrichtskonzeption sind die folgenden:

Die SuS können die Bildung von Säuren aus Nichtmetalloxiden (NMOx) und Basen aus Metalloxiden (MOx) erkennen und deren Bedeutung erklären.

Die SuS können die Freisetzung von CO₂ durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen beschreiben und die Bedeutung dieser Reaktion für den Menschen erkennen.

Die SuS können die Wirkung des Lösens von CO₂ auf den pH-Wert der Meere anhand der Reaktion von Nichtmetalloxiden und Wasser erklären.

Die SuS können die Ozeanversauerung als eine Folge des menschlichen CO₂ Ausstoßes erkennen und beschreiben.

Die SuS kennen die Auswirkungen der Ozeanversauerung für kalkbildende Meeresorganismen und können Auswirkungen auf diese Organismen beschreiben.

Das für die Unterrichtseinheit benötigte Vorwissen umfasst:

- Periodensystem der Elemente
- Chemische Bindungen
- Chemische Reaktionen
- Grundlagen zu Säuren und Basen
 - Definition des pH-Werts, Säuren, Basen

Die gesamte Planung des Unterrichtskonzepts mit allen dafür benötigten Materialien ist im Anhang der Arbeit zu finden.

4. Untersuchungsdesign

Zur Überprüfung, ob die gesetzten Ziele in der Unterrichtseinheit umgesetzt werden können und ob in diesem Zusammenhang die Naturwissenschaftliche Grundbildung gefördert werden kann, stehen mehrere Methoden zur Verfügung. Diese wären u.a. Fragebögen, Interviews, etc. Im Zuge dieser Arbeit wurde jedoch nicht mit Schüler*innen direkt gearbeitet, weshalb die Erreichbarkeit der Ziele mithilfe eines Expertenratings überprüft wurde. Die befragten Expert*innen sind u.a. Lehrende an Schulen, welche Chemie unterrichten, aber auch Student*innen des Lehramts für Chemie.

Als Untersuchungsmethode wurde hier ein online Fragebogen gewählt, da dieser einfach an mehrere Lehrpersonen ausgesendet werden kann und ohne die Anwesenheit von Forschenden ausgefüllt werden kann. Der ausgeschickte Fragebogen ist vollständig im Anhang zu finden.

4.1. Aufbau der Fragebögen

Im ersten Teil des Fragebogens wird neben allgemeinen Informationen zu der Lehrperson auch die bisherige Unterrichtserfahrung in Jahren erhoben, um die Entwicklung der Professionalisierung der Lehrperson einschätzen zu können. So wird nach den Phasenmodell von Huberman 1991 angenommen, dass nach 8 Jahren in der Unterrichtspraxis eine Stabilität des Unterrichtstils entwickelt worden ist (nach Dammerer und Schwab 2019). So kann angenommen werden, dass eine Lehrperson nach 10 Jahren im Schulalltag alle möglichen Erfahrungen bereits einmal erlebt hat.

Im zweiten Teil des Fragebogens wird die Umsetzbarkeit des Unterrichtskonzepts, das Erreichen der Lernziele und die Förderung von *Scientific Literacy* im interdisziplinären Unterricht mithilfe des Wissensmodells erfragt (Tepner und Dollny 2013). Um Daten zu der Einschätzung der Expert*innen zu erhalten, wurde das Format der Likert-Skala nach Likert (1932) gewählt. Diese bestehen aus mehreren Items zu der Unterrichtskonzeption, welche die Befragten auf einer 5-stufigen Skala („1 – stimmt überhaupt nicht“, „2 – stimmt eher nicht“, „3 – stimme weder zu noch lehne ab“, „4 - stimme eher zu“, „5 – stimme voll und ganz zu“) bewusst auswählen müssen. Diese Skala ist intervallskaliert, was es ermöglicht Mittelwerte und Standardabweichungen zu bestimmen und parametrische Statistik zu betreiben (Carifio und Perla 2007).

Der Fragebogen besteht aus insgesamt 39 Items, welche in mehrere Kategorien eingeteilt wurden:

1. Items anhand welcher die Expert*innen das Erreichen der Lernziele beurteilen sollen. Dies sind die Items 2.2 und 2.4 – 2.12. Item 2.2 soll einen Gesamtwert für das Erreichen der Lernziele erheben, während die weiteren Items einzelne Ziele im Detail überprüfen sollen.
2. Items, welche die Verknüpfung von Faktenwissen mit Konditions- und Funktionswissen nach Neber erheben. Wie in Kapitel 2.7.5 ausgeführt, wird Wissen als vollständig angesehen, wenn Lernende es außerhalb des erlernten Kontexts bei neuen Problemstellungen anwenden können. Items 2.3, 3.4, 3.6, 3.9 und 3.12 sollen die Verknüpfung der verschiedenen Wissensdimensionen erheben, während Items 3.7 und 3.15 speziell die Verknüpfung von chemischem Wissen mit biologischem Wissen überprüfen sollen.
3. Items, mit welchen die Anwendung chemischen Wissens in anderen Disziplinen überprüft werden soll. Items 3.5, 3.8, 3.11, 3.13, 3.14, 3.16 und 4.1 diene dazu, die Vernetzung und Anwendung von chemischem Wissen in anderen Disziplinen zu erheben. Hinzugefügt wurden hier auch Items 4.5 und 4.6, welche erfassen sollen, ob durch die verwendeten Methoden ein Kompetenzzuwachs erfolgen kann. Gemeinsam mit den Items aus Punkt 2 soll dadurch festgestellt werden, ob im Unterrichtskonzept die Kompetenzen im Bereich der naturwissenschaftlichen Grundbildung gefördert werden.
4. Items durch welche die Expert*innen beurteilen sollen, ob die Schülerperspektiven im Unterrichtskonzept ausreichend berücksichtigt wurden. Dazu zählen Items 3.1, 3.2, 3.3, 3.10 und 4.2 - 4.4. Sie beinhalten sowohl Items, welche erheben ob die Schülervorstellungen berücksichtigt wurden (3.3 und 3.10), als auch Items welche die Relevanz des Themas für Schüler*innen selbst erheben sollen (3.1, 3.2, 4.3 und 4.4). Item 4.2 soll dabei eine weitere Dimension der Motivation der Schüler*innen erheben, wodurch nachhaltiges Lernen gefördert werden kann.

Am Ende des Fragebogens wurde den Expert*innen noch die Möglichkeit gegeben, weitere Anmerkungen zum Unterrichtskonzept zu teilen.

4.2. Ergebnisse der Fragebögen

Item	Im Rahmen des Unterrichtskonzeptes...	stimmt nicht	stimmt eher nicht	weder noch	stimmt eher	stimmt voll und ganz	$\bar{x}$	$\sqrt{s^2}$
2.1	... werden die Fachinhalte zur Herstellung von Säuren und Basen verständlich vermittelt.	0	0	1	2	5	3,130	0,7560
2.2	... erreichen die SuS die zu Beginn angeführten Lernziele mit Sicherheit.	0	0	3	1	4	4,125	0,9910
2.3	... verknüpfen die SuS neues chemisches Fachwissen mit bereits gelerntem.	0	0	1	4	3	4,250	0,7071
2.4*	... lernen die SuS nicht, wie der pH-Wert definiert ist.	2	4	2	0	0	2,000	0,7559
2.5	... können die SuS die Anwendung von Indikatoren beschreiben.	0	0	0	5	3	4,375	0,5176
2.6	... können die SuS neue Fachbegriffe (z.B.: fossiler Brennstoff, ...) erklären.	0	0	0	4	4	4,500	0,5345
2.7	... können die SuS Reaktionen von Metall- und Nichtmetalloxiden mit Wasser aufschreiben.	0	1	0	4	3	4,125	0,9910
2.8	... können die SuS die Verwendung von Metall- und Nichtmetalloxiden im Alltag erklären.	0	0	1	5	2	4,125	0,6409
2.9	... erkennen die SuS die Bedeutung der Nutzung von fossilen Brennstoffen.	0	0	0	5	3	4,375	0,5176
2.10	... können die SuS die Senkung des pH-Werts durch CO ₂ aufgrund der Entstehung von Kohlensäure begründen.	0	1	0	3	4	4,250	1,0351
2.11	... können die SuS die Auswirkungen von vermehrten CO ₂ Emissionen auf die Ozeane beschreiben.	0	2	0	3	3	3,875	1,2464
2.12	... können die SuS mögliche Probleme eines niedrigen pH-Werts der Ozeane auf kalkbildende Organismen beschreiben.	0	1	3	1	3	3,750	1,1650

Tabelle 3: Absolute Häufigkeiten der Befragung mithilfe der Likert Skalen. Die negativ formulierten Items (markiert mit einem *) werden bei der Auswertung umgepolt.

Item	Im Rahmen des Unterrichtskonzeptes...	stimmt nicht	stimmt eher nicht	weder noch	stimmt eher	stimmt voll und ganz	$\bar{x}$	$\sqrt{s^2}$
3.1	... werden Fachinhalte ausführlich anhand von für die SuS relevanten Beispielen vermittelt.	0	0	0	4	4	4,500	0,5345
3.2	... sind die verwendeten Beispiele für die SuS selbst sehr relevant.	0	2	2	2	3	3,875	1,1260
3.3	... werden die Schülervorstellungen im Unterricht umfassend berücksichtigt.	0	0	2	3	3	4,125	0,8345
3.4*	... lernen die SuS ausschließlich Faktenwissen.	3	3	1	0	1	2,125	1,3562
3.5*	... erwerben die SuS nur Wissen, welches sie innerhalb anderer Bereiche des Fachs Chemie anwenden können.	4	3	0	1	0	1,750	1,0351
3.6	... wird Faktenwissen mit Konditions- und Funktionswissen vernetzt.	0	0	1	3	4	4,375	0,7440
3.7	... lernen die SuS mögliche Auswirkungen eines niedrigen pH-Werts auf kalkbildende Lebewesen kennen.	0	0	0	5	3	4,375	0,5176

3.8	... lernen die SuS , chemisches Fachwissen in überfachlichen Problemstellungen anzuwenden.	0	0	1	5	3	4,125	0,6409
3.9	... können die SuS neu erworbenes Wissen mit bereits vorhandenem Wissen logisch vernetzen.	0	0	1	4	3	4,250	0,7071
3.10	... wird auf die Aktivierung des Vorwissens großer Wert gelegt.	0	0	1	0	7	4,750	0,7071
3.11	... wird chemisches Wissen auch außerhalb der Disziplin, nämlich in Biologie, angewendet.	0	2	0	2	4	4,000	1,3093
3.12	... sollen Lernende Problemstellungen kontextbezogen lösen.	0	1	2	1	4	4,000	1,1952
3.13*	... wird chemisches Fachwissen nicht außerhalb der eigenen Disziplin angewendet.	3	2	2	1	0	2,125	1,1260
3.14	... werden die SuS auf das Bearbeiten von überfachlichen Fragestellungen vorbereitet.	0	0	3	4	1	3,750	0,7071
3.15	... werden die SuS auf interfachliche Verknüpfungen zur Biologie explizit aufmerksam gemacht.	0	1	0	3	4	4,250	1,0351
3.16	... werden die SuS auf Anwendungsmöglichkeiten außerhalb des Fachs Chemie deutlich hingewiesen.	0	0	0	3	5	4,625	0,5176

Tabelle 4: Absolute Häufigkeiten der mittleren Fragen der Likert Skala. Die negativ formulierten Items (markiert mit einem *) werden bei der Auswertung umgepolt.

Item	Durch den Einsatz dieser Methoden im Chemieunterricht ...	stimmt nicht	stimmt eher nicht	weder noch	stimmt eher	stimmt voll und ganz	$\bar{x}$	$\sqrt{s^2}$
4.1	... wird Fachwissen aus Chemie mit anderen Disziplinen vernetzt.	0	0	0	3	5	4,500	0,7559
4.2	... macht den SuS der Unterricht viel mehr Freude, weil viele Erfolgserlebnisse ermöglicht werden.	0	0	1	4	3	4,250	0,7071
4.3	... erachten die SuS die Inhalte des Chemieunterrichts auch in anderen Bereichen für wichtig und nützlich.	0	1	0	3	4	4,250	1,0351
4.4*	... erachten die SuS den Chemieunterricht als nicht relevant für sie.	3	4	0	1	0	1,875	0,9910
4.5	... fällt den SuS das Sprechen über chemische Themen in anderen Fächern deutlich leichter.	0	1	2	4	1	3,625	0,9161
4.6	... fällt den SuS das Erkennen von chemischen Themen in überfachlichen (gesellschaftlich, ökonomisch, ...) Fragen viel leichter.	0	1	0	5	2	4,000	0,9258

Tabelle 5: Absolute Häufigkeiten der letzten Fragen der Likert Skala Die negativ formulierten Items (markiert mit einem *) werden bei der Auswertung umgepolt.

5. Auswertung

Vorab ist bei der Auswertung der Fragebogen zu erwähnen, dass nur 8 der 25 Befragten diesen bis zum Ende beantwortet haben. Eine der befragten Expert*innen hat nur den allgemeinen Teil des Fragebogens beantwortet und 16 der befragten Expert*innen beantworteten den Fragebogen gar nicht. Die Tatsache, dass studierte Lehrpersonen nur schwer für fachdidaktische Studien verfügbar sind, ist ein leider häufiges Problem in der fachdidaktischen Forschung.

Die geringe Anzahl an Expert*innen ist bei allen statistischen Berechnungen zu berücksichtigen, da dadurch eine Signifikanzprüfung und ein valider Rückschluss auf die Grundgesamtheit nur sehr eingeschränkt möglich sind.

Zusätzlich ist hier zu erwähnen, dass nur 3 der 8 befragten Expert*innen eine Unterrichtserfahrung von 10 oder mehr Jahren vorweisen können.

Die Auswertung der Fragebögen erfolgte mithilfe der Software SPSS und Microsoft Excel. Die Reliabilität der Itemkataloge wurde durch die Überprüfung von Cronbachs α festgestellt, und die Trennschärfe jedes Items als Maß für die Korrelation zwischen den Items in einem Katalog bestimmt. Werte von α über 0,9 gelten als sehr gute Reliabilität, Werte über 0,8 als gute Reliabilität. Hier ist jedoch zu beachten, dass hohe Werte von α auch durch eine hohe Redundanz der Items verursacht werden können (Hulin *et al.* 2001, S. 57). Werte von über 0,5 gelten bei der Trennschärfe allgemein als gute Korrelation zu den anderen Items im Katalog.

Für die direkte Vergleichbarkeit von positiv und negativ formulierten Items werden die negativ formulierten Items im Zuge der Auswertung umgepolt.

5.1. Werden die im Unterrichtskonzept definierten Lernziele erreicht?

Items 2.2 und 2.5 – 2.12 wurden formuliert, um das Erreichen der Lernziele überprüfen zu können. Der Wert von Cronbachs Alpha gibt die Reliabilität eines Tests an und ist in diesem Fall für alle oben genannten Items mit $\alpha = 0,879$ gut. Item 2.4 wurde für die weitere Auswertung nicht herangezogen, da die Korrelation mit den anderen Items sehr gering ist (vgl. Tabelle 6). Das hier abgefragte Lernziel wird in dem Unterrichtskonzept nicht erreicht, da die Definition des pH-Werts für die Durchführung dieses Unterrichtskonzepts bereits vorausgesetzt wurde.

Item	Korrigierte Trennschärfe	α wenn gelöscht	Cronbachs α
2.2 Lernziele werden erreicht	0,430	0,885	0,879
2.4 Definition des pH-Werts*	0,198	0,879	
2.5 Anwendung von Indikatoren beschreiben	0,382	0,883	
2.6 Fachbegriffe erklären	0,594	0,873	
2.7 Reaktionsgleichungen von MOx und NMOx aufstellen	0,918	0,837	
2.8 Verwendung von MOx und NMOx erklären	0,797	0,858	
2.9 Bedeutung der Nutzung fossiler Brennstoffe erkennen	0,486	0,878	
2.10 pH-Senkung durch CO ₂ begründen	0,809	0,848	
2.11 Auswirkung von CO ₂ auf Ozeane beschreiben	0,739	0,858	
2.12 Auswirkung von niedrigem pH auf kalkbildende Organismen beschreiben	0,664	0,865	

Tabelle 6: Cronbachs α und die Trennschärfe berechnet über die Items der Lernziele. Der Wert von 0,879 zeigt an, dass die Überprüfung des Erreichens der Lernziele mithilfe dieser Items geeignet ist. Die Trennschärfe der einzelnen Items ist bis auf Items 2.2, 2.5 und 2.9 über 0,5, was eine gute Korrelation mit den anderen Items zeigt. Zusätzlich dazu führt das Löschen keines einzelnen Items zu einem signifikant höheren Wert von α . Items, welche mit * markiert sind, wurden vor der Auswertung umgepolt.

Interessant ist in diesem Zusammenhang auch, dass die mittlere Zustimmung der Expert*innen (nach dem Umpolen) zu diesem Item 4,0 beträgt (siehe Abb. 10).

In Abbildung 10 sind die Mittelwerte der Zustimmung der Expert*innen zu den einzelnen Items abgebildet. Dabei ist zu erkennen, dass alle Mittelwerte einen Wert von 3,7 überschreiten. Die höchsten Mittelwerte mit der geringsten Standardabweichung sind bei Items 2.5, 2.6 und 2.9 zu beobachten (vgl. Abb. 10), mit Mittelwerten von jeweils 4,5, 4,375 und 4,375 beobachtet werden.

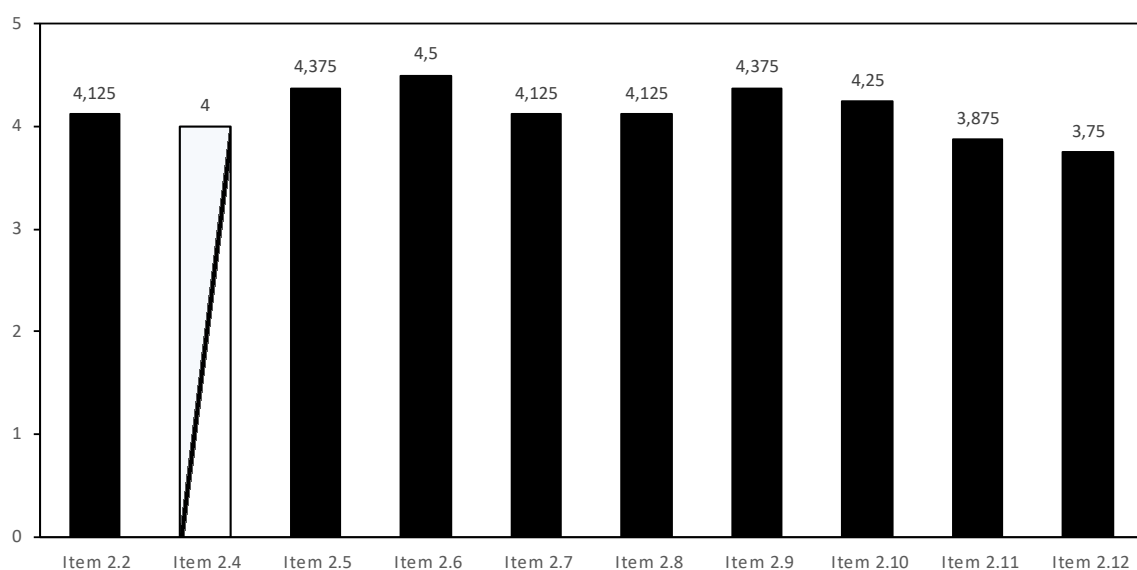


Abb. 10: Mittlere Zustimmung der Expert*innen zum Erreichen der Lernziele des Unterrichtskonzepts. Alle Mittelwerte, bis auf Items 2.11 und 2.12 sind über 4. Die Zustimmung zu Items 2.11 und 2.12 ist geringer als für die anderen Items. Item 2.4 wurde bei der Berechnung der Reliabilität ausgeschlossen und vor der Auswertung umgepolt ausgeschlossen.

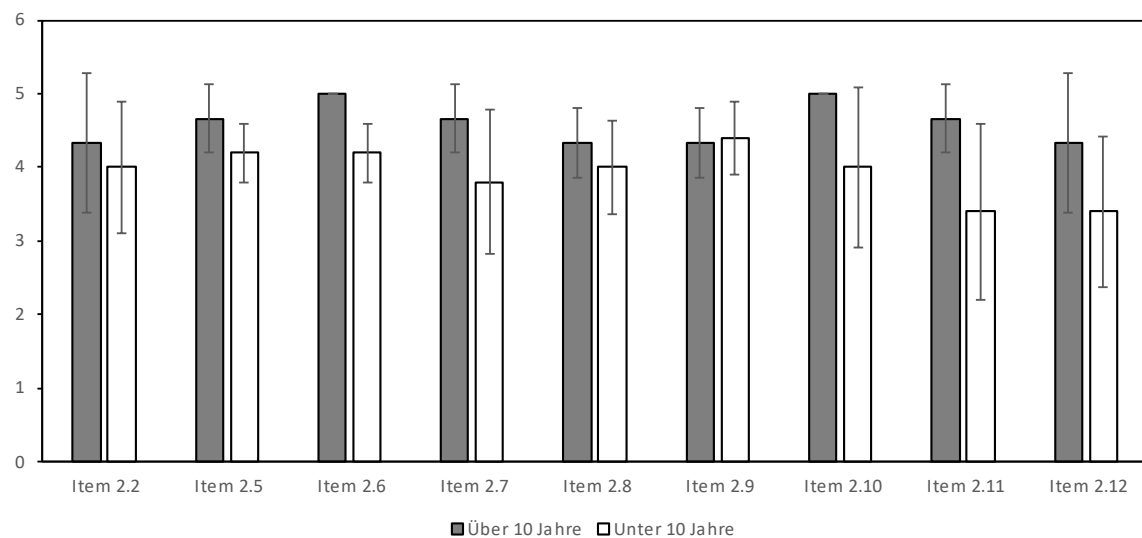


Abb. 11: Vergleich der Zustimmung zu den Items zwischen Expert*innen mit mehr als 10 Jahren Unterrichtserfahrung zu denen mit weniger als 10 Jahren Erfahrung. Bei Items 2.10 bis 2.12 unterscheidet sich die mittlere Zustimmung der Expert*innen stark zwischen beiden Gruppen. Die Fehlerbalken geben die berechnete Standardabweichung wieder.

Interessant ist hier auch, dass die niedrigsten Mittelwerte bei Items 2.11 (3,88) und 2.12 (3,75) auftreten (siehe Abb. 10). Bei diesen Items, zusammen mit Item 2.10, sind auch die Standardabweichungen für den Itemkatalog am höchsten. Diese Items sollen im Speziellen interdisziplinäre Lernziele überprüfen, wobei die Anwendung von chemischem Wissen auf die im Unterrichtskonzept vorgestellte biologische Problemstellung der Ozeanversauerung notwendig ist. Interessanterweise unterscheiden sich bei den Items 2.10 - 2.12 die Mittelwerte zwischen den Expert*innen mit mehr als 10 Jahren Unterrichtserfahrung von denen mit weniger als 10 Jahren Unterrichtserfahrung deutlich (siehe Abb. 11). Hierbei ist jedoch wieder die geringe Anzahl an Expert*innen zu berücksichtigen. Dadurch sind vor allem die Standardabweichungen sehr hoch und nur schwer vergleichbar.

Insgesamt ist hierdurch aber ersichtlich, dass die für das Unterrichtskonzept definierten Lernziele großteils erreicht werden. Lediglich bei den interdisziplinär formulierten Lernzielen wird das Erreichen dieser von den Expert*innen als weniger wahrscheinlich angesehen. Hier handelt es sich vor allem auch um Lernziele, welche in dem Unterrichtskonzept durch das Mystery und der damit verbundenen Präsentation und Diskussion erreicht werden können. Deshalb muss in dieser Phase des Unterrichtskonzepts die Diskussion durch die Lehrperson entsprechend geleitet werden.

5.2. Wird im Unterrichtskonzept Fachwissen mit Funktions- und Konditionswissen verknüpft und bei den Schüler*innen das Anwenden von Fachwissen außerhalb von Chemie gefördert?

Für die Beantwortung dieser Fragestellungen wurden 2 Skalen gebildet. Die Items 3.5, 3.8, 3.11, 3.13, 3.14, 3.16, 4.5 und 4.6 sollen gemeinsam erheben, ob durch das Unterrichtskonzept Kompetenzen der Schüler*innen im Bereich der naturwissenschaftlichen Grundbildung gefördert werden können. Items 2.3, 3.4, 3.6, 3.9 und 3.12 bilden gemeinsam die andere Skala, welche die Vernetzung von Fakten- mit Funktions- und Konditionswissen erheben sollen. Items 3.7 und 3.15 sollen speziell die Anwendung von chemischem Fachwissen bei biologischen Problemstellungen im Rahmen des Unterrichtskonzepts überprüfen. Nur diese Vernetzung führt nach Neber 1993 (vgl. 2.7.2) zu einem vollständigen Wissen, was auch in inter- und transdisziplinären Problemstellungen angewendet werden kann.

Dies schließt einerseits das Verknüpfen von chemischem Fachwissen mit chemischen und mit überfachlichen Problemstellungen ein, andererseits aber auch die Verknüpfung von Faktenwissen mit Funktions- und Konditionswissen.

Cronbachs Alpha ist hier mit einem Wert von $\alpha = 0,799$ gut (siehe Tabelle 7), weshalb eine gute Reliabilität festgestellt werden kann. Anzumerken ist hier allerdings die geringe Trennschärfe von Item 3.4 mit nur 0,395.

Item	Korrigierte Trennschärfe	α wenn gelöscht	Cronbachs α
2.3 Verknüpfung von bereits Gelerntem	0,713	0,740	0,799
3.4 SuS lernen nur Faktenwissen*	0,395	0,861	
3.6 Vernetzung von Fakten- mit Konditions- und Funktionswissen	0,532	0,779	
3.9 Logische Vernetzung mit bereits vorhandenem Wissen	0,713	0,740	
3.12 kontextbezogenes Lösen von Problemen	0,826	0,667	

Tabelle 7: Cronbachs α und die Trennschärfe berechnet über die Items der Wissensverknüpfung. Der Wert von 0,799 zeigt eine gute Reliabilität des Itemkatalogs an. Die Trennschärfe von Item 3.4 ist mit 0,395 eher gering und deutet auf eine geringe Korrelation zu den anderen Items hin. Items, welche mit * markiert sind, wurden vor der Auswertung umgepolt.

In Abbildung 12 ist die mittlere Zustimmung der Expert*innen zu den einzelnen Items abgebildet. Bei allen Items bis auf Item 3.4 ist ein Mittelwert von über 4,0 zu erkennen. Die höchsten Mittelwerte, mit Werten von über 4,25, erzielen die Items, mit welchen die Vernetzung von Faktenwissen mit Funktions- und Konditionswissen überprüft werden soll.

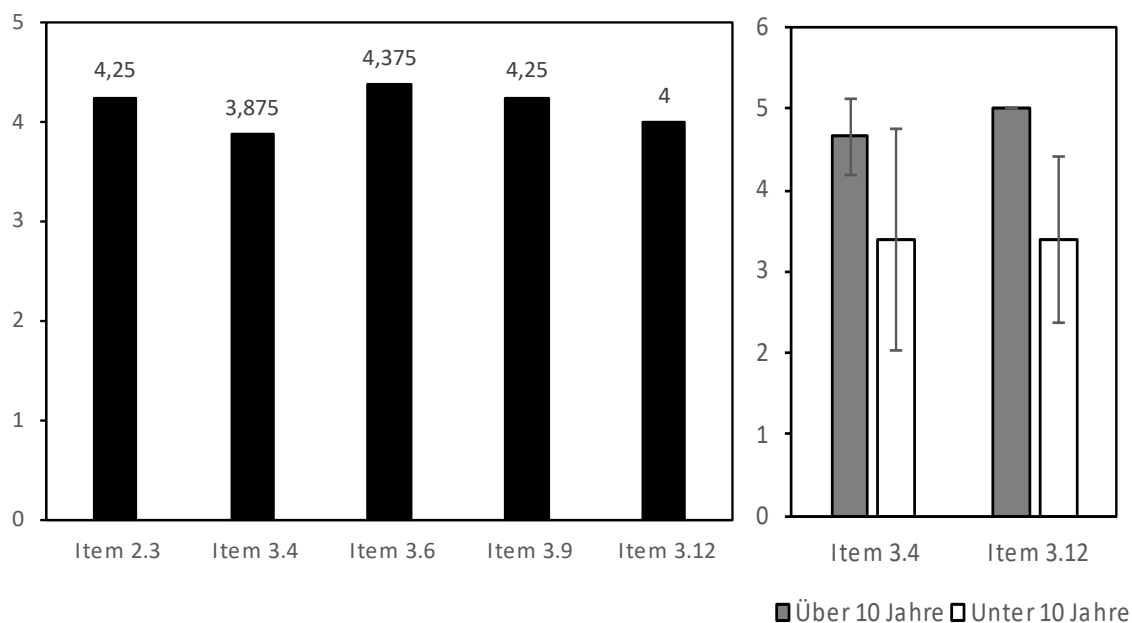


Abb. 12: Mittelwerte der Items , welche die Wissensverknüpfung erheben. Links: Bis auf Item 3.4 liegen die Mittelwerte aller Items bei 4 oder höher. Item 3.4 wurde für den Vergleich umgepolt. Rechts: Die mittlere Zustimmung der Expert*innen mit weniger als 10 Jahren Unterrichtserfahrung zu Items 3.4 und 3.12 ist deutlich geringer. Die Fehlerbalken geben die berechnete Standardabweichung wieder.

Zugleich besitzen diese Items auch die geringsten Standardabweichungen des Itemkatalogs.

Zu beachten ist hier auch, dass Item 3.4 auf dieser Skala die geringste Zustimmung, mit einem Wert von 3,875 erfährt. Die Standardabweichung ist mit einem Wert von 1,356 die höchste innerhalb des Itemkatalogs. Hier ist anzumerken, dass die Vermittlung von Faktenwissen zu Beginn des Unterrichtskonzepts sehr hoch ist, da dieses als Grundlage für die Verknüpfung anderer Wissenskomponenten dient.

Items 3.5, 3.8, 3.11, 3.13, 3.14, 3.16, 4.5 und 4.6 bilden eine weitere Skala. Anhand dieser Items, sollen die Expert*innen die Anwendung von chemischem Fachwissen in der Biologie und anderen Disziplinen beurteilen. Hohe Werte bei der Anwendung von chemischem Wissen in überfachlichen Problemstellungen lässt auf eine Förderung der naturwissenschaftlichen Grundbildung im Rahmen des Unterrichtskonzepts schließen. Cronbachs α liefert für die Reliabilität dieses Itemkatalogs einen Wert von $\alpha = 0,880$. Damit ist eine gute Reliabilität gegeben. Hier ist anzumerken, dass die Trennschärfe von Item 3.8 mit dem Wert von 0,250 nur sehr gering ist, jedoch die Reliabilität durch den Ausschluss dieses Items nicht signifikant zunimmt (siehe Tabelle 8).

In Abbildung 13 sind die Mittelwerte der Items aus Tabelle 8 abgebildet. Die Mittelwerte haben hier bei allen Items einen Wert von über 3,5. Die niedrigste Zustimmung erhält Item

4.5, bei welchem die Expert*innen beurteilen sollten, ob die im Unterrichtskonzept verwendeten Methoden den Schüler*innen das Sprechen über chemische Themen erleichtert. Der Wert deutet darauf hin, dass die im Unterrichtskonzept vorgestellten Methoden alleine nicht ausreichen um über chemische Themen in anderen Disziplinen zu sprechen.

Item	Korrigierte Trennschärfe	α wenn gelöscht	Cronbachs α
3.5 Anwendung nur innerhalb anderer Bereiche der Chemie*	0,496	0,880	0,880
3.8 chemisches Fachwissen in überfachlichen Problemstellungen	0,250	0,892	
3.11 Anwendung von chemischem Wissen außerhalb der eigenen Disziplin, in Biologie	0,828	0,849	
3.13 Anwendung von chemischem Fachwissen nicht außerhalb der eigenen Disziplin*	0,793	0,851	
3.14 Vorbereitung auf überfachliche Problemstellungen	0,677	0,866	
3.16 Hinweise auf Anwendungen chemischen Wissens außerhalb der eigenen Disziplin	0,564	0,876	
4.1 Vernetzung chemischen Fachwissens mit anderen Disziplinen	0,751	0,859	
4.5 Leichteres Sprechen über chemische Themen in anderen Fächern	0,668	0,864	
4.6 Erkennen von chemischen Themen in überfachlichen Problemstellungen	0,716	0,859	

Tabelle 8: Cronbachs α und die Trennschärfe berechnet über alle Items, welche die Anwendung chemischen Wissens in anderen Disziplinen erheben. Der Wert von 0,880 zeigt an, dass die Reliabilität gut ist. Die Trennschärfe fast aller Items, mit Ausnahme von 3.5 und 3.8, ist mit einem Wert von über 0,5 auch gut. Die Trennschärfe von 3.5 und 3.8 ist unter 0,5, jedoch führt der Ausschluss jedes einzelnen nicht zu einer signifikanten Zunahme der Reliabilität. Items, welche mit * markiert sind, wurden vor der Auswertung umgepolt.

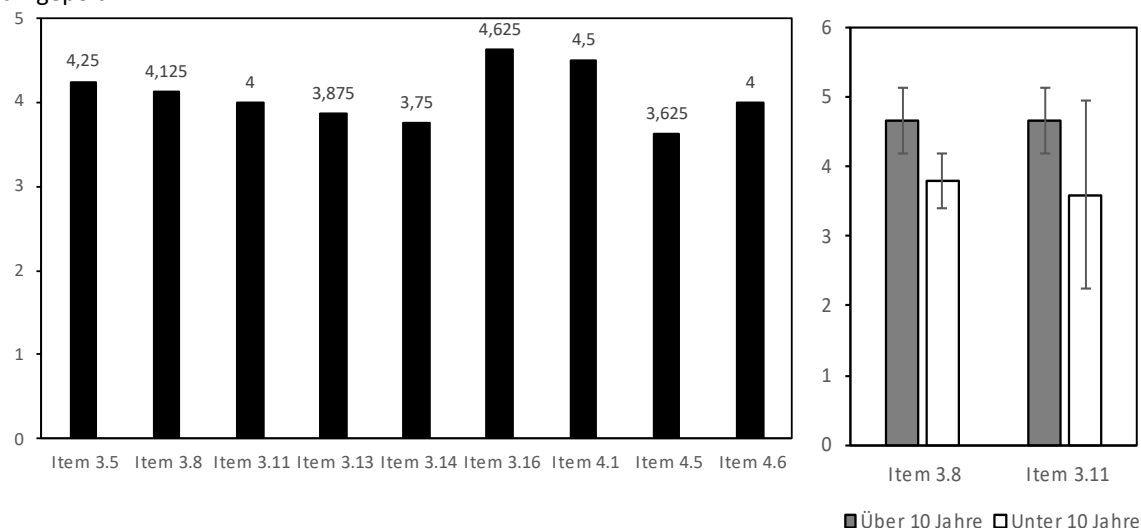


Abb. 13: Mittlere Zustimmung der Expert*innen zu den Items, welche die Förderung der naturwissenschaftlichen Grundbildung erheben sollen. Links: Alle Mittelwerte außer Item 3.13, 3.14 und 4.5 besitzen einen Mittelwert von 4 oder höher. Die höchste Zustimmung ist bei Item 3.16 zu erkennen. Rechts: Die mittlere Zustimmung der Expert*innen mit weniger als 10 Jahren Unterrichtserfahrung ist bei Items 3.8 und 3.12 deutlich geringer. Items 3.5 und 3.8 wurden für den Vergleich umgepolt. Die Fehlerbalken geben die berechnete Standardabweichung wieder.

An dieser Stelle liegt es jedoch nicht ausschließlich am Chemieunterricht, da diese Prozesse auch in anderen Fächern unterstützt werden müssen.

Auch Items 3.13 und 3.14 zeigen Mittelwerte unter 4,0, mit jeweils einem Wert von 3,875 und 3,75. Hierbei wurde einerseits das Anwenden chemischen Wissens in anderen Disziplinen und die Vorbereitung auf das Bearbeiten von Überfachlichen Problemstellungen andererseits überprüft.

Insgesamt lässt sich dennoch feststellen, dass durch dieses Konzept ein Beitrag für das Erreichen einer naturwissenschaftlichen Grundbildung geleistet wird.

5.3. Werden in dem Konzept die Perspektiven der Lernenden ausreichend berücksichtigt?

Wie in den Kapiteln 2.7.2 und 2.7.6 ausgeführt, müssen bei der Planung von gutem Unterricht die Schülervorstellungen und Perspektiven der Lernenden berücksichtigt werden. Wichtig für die Motivation der Lernenden ist zudem auch die Relevanz der Thematik, wobei für die Schüler*innen sowohl eine fachliche, persönliche oder gesellschaftliche Relevanz gegeben sein kann.

Durch die Items 3.1 – 3.3, 3.10 und 4.2 - 4.4 sollte mithilfe der Expert*innen die Relevanz für die Schüler*innen und die Berücksichtigung der Schülerperspektiven erhoben werden. Items 3.1, 3.2 4.3 und 4.4 erheben die Relevanz, während die Berücksichtigung der Schülerperspektiven durch Items 3.3 und 3.10 erhoben wird. Durch Item 4.2 soll eine Dimension der Motivation der Schüler*innen erhoben werden. Die Relevanz der Thematik und der verwendeten Beispiele ist für das Lernen wichtig, da die Informationen dadurch besser im Gehirn verarbeitet werden können (Schirp 2003, S. 309–310).

Item	Korrigierte Trennschärfe	α wenn gelöscht	Cronbachs α
3.1 Fachinhalte werden mit für SuS relevante Beispiele vermittelt	0,664	0,872	0,862
3.2 Beispiele sind für SuS selbst relevant	0,789	0,796	
4.3 SuS erachten Inhalte des Chemieunterrichts in anderen Bereichen als wichtig	0,770	0,799	
4.4 SuS erachten Chemieunterricht als nicht relevant*	0,747	0,809	

Tabelle 9: Cronbachs α und die Trennschärfe berechnet über die Items der Schüler*innen Relevanz. Der Wert von 0,862 zeigt eine gute Reliabilität des Itemkatalogs an. Die Trennschärfe ist bei allen Items über einem Wert von 0,5, was eine gute Korrelation zwischen den Items zeigt. Items, welche mit * markiert sind, wurden vor der Auswertung umgepolt.

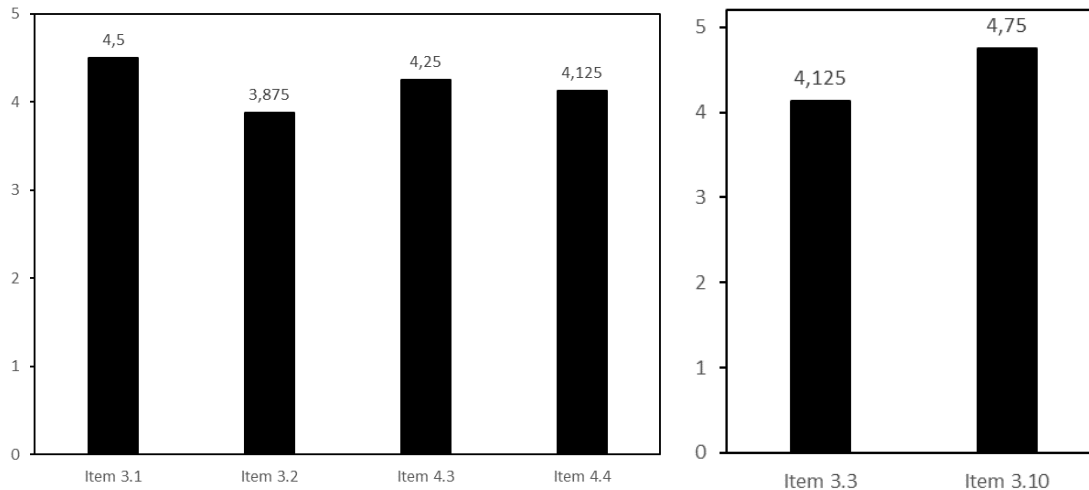


Abb. 14: Mittelwerte der Items welche die Berücksichtigung der Lernerperspektiven erfassen. Links: Items mit welchen die Expert*innen die Relevanz für die Schüler*innen beurteilen. Rechts: Die Berücksichtigung der Schülervorstellungen.

Die Berechnung von Cronbachs α erfolgt für den gesamten Itemkatalog gemeinsam (vgl. Tabelle 9). Der berechnete Wert von Cronbachs α ist hier $\alpha = 0,862$, was eine gute Reliabilität darstellt. Die Trennschärfe zwischen den einzelnen Items ist mit einem Wert von über 0,5 auch gut und deutet auf eine gute Korrelation zwischen den einzelnen Items hin.

Die Mittelwerte über die Items der Relevanz sind in Abbildung 14 dargestellt. Bis auf Item 3.2, mit einem Mittelwert von 3,875, wird bei allen weiteren Items ein Wert von 4,0 überschritten. Anzumerken ist hier, dass Items 3.2 und 4.3 die höchste Standardabweichung dieses Itemkatalogs mit 1,126 und 1,035 besitzen. Dabei sollen die Expert*innen durch Item 3.2 die Relevanz der im Unterrichtskonzept verwendeten Beispiele für die Schüler*innen selbst beurteilen. Das deutet darauf hin, dass zumindest die persönliche Relevanz der Beispiele für die Schüler*innen im Unterrichtskonzept nicht immer gegeben ist. Dennoch lässt sich aus den Daten ableiten, dass bei der Thematik als Ganzes für die Schüler*innen eine Relevanz besteht.

Items 3.3 und 3.10 weisen beide Mittelwerte von über 4,0 auf, was darauf hinweist, dass die Schülervorstellungen in dem Konzept berücksichtigt wurden. Zusätzlich besitzt auch Item 4.2 einen hohen Mittelwert, nämlich 4,25. Es soll die Freude der Schüler*innen durch Erfolgserlebnisse erheben und ist deswegen (wie die Relevanz und die Schülervorstellungen) vor allem beim Gestalten von nachhaltigen Lernumgebungen wichtig.

Insgesamt lässt sich an dieser Stelle festhalten, dass die Perspektiven der Lernenden im Unterrichtskonzept ausreichend berücksichtigt werden. Sowohl ist die Relevanz der Thematik und der Unterrichtsbeispiele für die Schüler*innen gegeben, als auch wurden die Schülervorstellungen berücksichtigt. Dadurch soll vor allem ein nachhaltiges Vermitteln der Kompetenzen im Rahmen des in der Arbeit vorgestellten Unterrichtskonzepts ermöglicht werden.

5.4. Anmerkungen der Expert*innen zum Unterrichtskonzept

An dieser Stelle soll noch kurz auf die Anmerkungen der Expert*innen zum Unterrichtskonzept eingegangen werden. Insgesamt wurde die Möglichkeit weitere Anmerkungen zum Unterrichtskonzept zu teilen von 5 der 8 Expert*innen genutzt. Hierbei nannten 3 der Expert*innen jeweils unterschiedliche Grenzen der Umsetzbarkeit an der Sekundarstufe 1. Eine der Anmerkungen ist als allgemeine Anmerkung verfasst, während die letzte den Methodenwechsel hervorhebt.

Bezüglich der Umsetzbarkeit des Unterrichtskonzepts waren 3 verschiedene Ansichten vertreten. Eine Expert*innen Meinung sieht Schwierigkeiten an der Umsetzung, *„wenn dann im Schulsystem begründet“*. Zusätzlich wurde auch der Schulstandort als Faktor für die Umsetzbarkeit genannt: *„Fächerübergreifender, projektzentrierter Unterricht ist nicht immer leicht durchzusetzen, wenn am Standort nicht etabliert“*. Während Projektzentrierter Unterricht sicherlich nicht immer leicht in der Schule umzusetzen ist, ist dieses Konzept für die Umsetzung im Regelunterricht gedacht. Schwierigkeiten bezüglich der Umsetzung ergeben sich hier rein durch die Durchführung des Mysterys im Rahmen einer Doppelstunde. Diese ist jedoch so geplant, dass die Unterrichtseinheit nach 50 Minuten unterbrochen werden kann um in der nächsten Stunde an derselben Stelle fortzufahren.

Eine weitere Anmerkung zur Umsetzbarkeit lag daran, dass Zeitvorgaben optimistisch gesetzt sind und das Konzept nur mit einer kleinen Klasse von 10 SuS durchführbar ist.

Die dritte Schwierigkeit bezüglich Umsetzbarkeit wurde von einer/m Expert*in mit einem allgemein sinkenden Leistungsniveau der Schüler*innen begründet. Interessant ist an dieser Stelle, dass ein sinkendes Leistungsniveau bei der PISA Studie 2022 bei deutschen Schüler*innen beobachtet werden konnte (Freundl *et al.* 2023), jedoch nicht bei österreichischen Schüler*innen (OECD 2023, S. 155–159).

Auch positive Anmerkungen seitens der Expert*innen wurden getätigt. Dabei wurde u.a. der für die Aufmerksamkeit förderliche Methodenwechsel und die Möglichkeit von fächerübergreifendem vernetztem Lernen aufgezeigt.

6. Fazit

Der Klimawandel ist eines der größten Probleme für unsere heutige Gesellschaft und wird dies auch in der Zukunft bleiben. Die Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt sind jetzt schon stark zu spüren, werden jedoch in Zukunft noch stark zunehmen. Der letzte Bericht der APCC beispielsweise, dass die durchschnittliche Erhöhung der Temperatur in Österreich jetzt schon mehr als 3°C beträgt (APCC 2025).

Gerade aus diesem Grund ist es wichtig den Schüler*innen in der Schule die notwendigen Kompetenzen mitzugeben, damit sie ihre Zukunft selbst mitbestimmen zu können. Dafür benötigt es vor allem Kompetenzen im Bereich der naturwissenschaftlichen Grundbildung. An diesem Punkt knüpft auch diese Arbeit an, mithilfe welcher ein Unterrichtskonzept entwickelt wurde, das einen Beitrag zum Erreichen einer naturwissenschaftlichen Grundbildung im Rahmen des Chemieunterrichts leisten soll.

Der Vergleich der Lehrpläne der Sekundarstufe I ergab dabei eine gute Überschneidung im Rahmen der Säuren und Basen in Chemie und der Ökosysteme in der Biologie. Daraus wurde hier ein interdisziplinäres Konzept zur Behandlung der Ozeanversauerung im Zuge des Klimawandels entwickelt.

Die Ergebnisse des Expertenratings ergaben, dass die in dem Unterrichtskonzept formulierten Lernziele erreichbar sind. Hierbei war jedoch die Zustimmung zu den Items, welche die interdisziplinären Lernziele überprüften, geringer als die Zustimmung der anderen Items. Das könnte darauf hindeuten, dass die interdisziplinären Verknüpfungen der beiden Fächer von den Expert*innen als schwerer zu erreichen eingestuft werden als die rein fachlichen Verknüpfungen. Wie schon bei der Auswertung erwähnt, ist das Erreichen der interdisziplinären Lernziele u.a. stark von der an das Mystery folgenden Diskussion abhängig.

Interessanterweise war die Zustimmung zwischen Expert*innen mit mehr als 10 Jahren Unterrichtserfahrung und Expert*innen mit weniger als 10 Jahren Unterrichtserfahrung bei den interdisziplinären Lernzielen unterschiedlich hoch. Hier ist aber zu beachten, dass die Zahl der Expert*innen beider Gruppen unterschiedlich groß war und durch die hohe

Standardabweichung innerhalb der beiden Gruppen keine Aussage über die Signifikanz getroffen werden kann.

Bei der Förderung der naturwissenschaftlichen Grundbildung zeigten die Ergebnisse, dass eine Vernetzung des Wissens und eine damit verbundene Konstruktion eines vollständigen Wissens durch das Unterrichtskonzept gefördert wird. Es erfolgt einerseits eine Vernetzung neuer Inhalte mit bereits Gelerntem und andererseits eine Verknüpfung von Faktenwissen mit Funktions- und Konditionswissen. Zusätzlich dazu wird die Anwendung von chemischem Wissen in anderen Disziplinen und im speziellen in der Biologie gefördert. Beides ist notwendig für das Erlangen von Kompetenzen im Bereich der naturwissenschaftlichen Grundbildung. Die Anwendung von chemischem Wissen in anderen Disziplinen zeigt aber, dass die Vermittlung dieser Kompetenzen im Unterrichtskonzept gefördert wird.

Anhand der Ergebnisse kann auch darauf geschlossen werden, dass auf die Lernerperspektiven im Unterrichtskonzept ausreichend eingegangen wird. Hier wurde bis auf einen Punkt die Relevanz der Thematik für die Schüler*innen als hoch eingestuft. Durch die Relevanz für die Schüler*innen wird nachhaltiges Lernen erleichtert. Hierfür ist auch die Berücksichtigung der Schülervorstellungen und die damit verbundene Aktivierung des Vorwissens verantwortlich.

Bei den Anmerkungen der Expert*innen am Ende der Fragebögen wurden Grenzen der Umsetzbarkeit in der Schule aufgezeigt. Einerseits wurde das Schulsystem als solches als nicht flexibel genug genannt, um interdisziplinären Unterricht durchzuführen und die Kultur an den Schulstandorten selbst als Hindernis genannt. Andererseits wurde den Schüler*innen im Allgemeinen ein fallendes Leistungsniveau attestiert, welches eine Umsetzung des Unterrichtskonzepts erschwert. Zuletzt wurden auch die zeitlichen Vorgaben des Konzepts als optimistisch beschrieben. Eine Ausweitung des Konzepts auf mehrere Stunden ist in diesem Falle auf jeden Fall möglich, wobei gerade für leistungsschwache Klassen der Unterricht in noch kleineren Schritten gestaltet (*small step teaching*) werden kann, um keine Schüler*innen zu verlieren.

Abschließend muss an dieser Stelle noch einmal die eingeschränkte Generalisierbarkeit dieser Ergebnisse unterstrichen werden. Hierfür ist einerseits die geringe Anzahl an

Expert*innen in der Studie verantwortlich und andererseits die Formulierung einzelner Items. Dabei ist anzumerken, dass aufgrund von zeitlichen Gründen keine Prä-Evaluierung der einzelnen Items in größerem Maßstab stattgefunden hat. Durch eine Evaluierung vor dem eigentlichen Expertenrating könnten die Items noch umformuliert werden oder unpassende Items aus den Bewertungsskalen entfernt werden.

Im Anschluss daran müsste diese Studie mit einer größeren Zahl an Expert*innen wiederholt werden.

Zusätzlich ist zu beachten, dass das Expertenrating alleine nicht die einzige Möglichkeit darstellt, um die nachhaltige Vermittlung von Kompetenzen im Bereich der naturwissenschaftlichen Grundbildung zu erheben. Während dadurch die Meinung von Expert*innen abgebildet wird, welche Erfahrung im Lehren soeben dieser Kompetenzen besitzen, können die Kompetenzen der Schüler*innen durch diese Methode nicht direkt gemessen werden.

Eine Möglichkeit, um die Vermittlung zu empirisch zu untersuchen, stellt die Durchführung einer Interventionsstudie dar. Schüler*innen würden hier zu Beginn in eine Kontroll- und eine Interventionsgruppe getrennt werden. In der Kontrollgruppe würde in diesem Fall normaler Regelunterricht zum Thema Klimawandel und Ozeanversauerung stattfinden, während bei der anderen Gruppe eine Intervention stattfindet. Noch vor der Intervention würde bei beiden Gruppen ein Pre-Test durchgeführt werden, um die Kompetenzen im Bereich der naturwissenschaftlichen Grundbildung zu erheben. Diese Kompetenzen würden nach der Intervention durch einen Post-Test noch einmal erhoben werden, um den Zuwachs an Kompetenzen zu messen. Um die nachhaltige Vermittlung der Kompetenzen zu messen, müsste ca. 2 Monate nach dem Post-Test noch ein Retention Test durchgeführt werden. Durch die große Zeitspanne zwischen dem Post- und dem Retention-Test kann die nachhaltige Kompetenzvermittlung im Bereich der naturwissenschaftlichen Grundbildung gemessen werden.

Die erhobenen Daten würden dann auf signifikante Unterschiede in der Entwicklung der Kompetenzen der naturwissenschaftlichen Grundbildung zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe untersucht werden. Auch bei dieser Studie ist eine größere Anzahl an Schüler*innen von Vorteil, damit keine Einschränkungen auf eine Generalisierbarkeit auftreten.

7. Anhang

7.1. Unterrichtsplanung – Reaktion von Metall- und Nichtmetalloxiden mit Wasser

Zeit	Phase ¹	Geplante LuL-Tätigkeit	Geplante SuS-Tätigkeit	Sozialform	Materialien/Medien	Anmerkungen
10 min	Einstieg	Wiederholung von pH-Wert und Indikatoren: Hinweis: SuS auf Rotkrautsaft aufmerksam machen. LP Stellt Frage, wie saure und basische Lösungen hergestellt werden können.	SuS aktivieren Wissen zu pH-Wert und Indikatoren	LV, LSG		
25 min	Erarbeitung	Vorstellen von Bromthymolblau als Indikator (mit Umschlagpunkt bei pH 7), welcher im Sauren gelb und im Basischen blau ist. DEMO Versuch: Verbrennung von Schwefel, Verbrennung von Magnesium und Lösen der Verbrennungsprodukte in Wasser. LP zeigt den Umschlag von grün zu gelb bei der Verbrennung von Schwefel auf. LP zeigt den Umschlag von grün zu blau, bei der Verbrennung von Magnesium auf. Frage an die SuS, wie hat sich der pH-Wert der Lösung in den Kolben dabei jeweils verändert hat. Reaktion von Schwefel mit Sauerstoff an die Tafel schreiben. Reaktion von SO ₂ mit Wasser anschreiben. - Erklärung, dass Schwefeldioxid mit Wasser zu schwefeliger Säure reagiert. - $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$ Während der Erklärung noch einmal wiederholen, dass es sich bei der Verbindung SO ₂ um ein Nichtmetalloxid handelt.	SuS beobachten DEMO Versuch. SuS überlegen sich, was Änderung des Indikators anzeigt. SuS notieren sich Reaktionsgleichungen und wichtige Begriffe im Heft (siehe Tafelbild).	LSG	DEMO: Schwefel, Magnesium, Verbrennungslöffel, Bromthymolblau, Wasser, Erlenmeyerkoben Tafel, farbige Kreide	Um die SuS hier nicht zu verlieren, wird an dieser Stelle besonders darauf geachtet das neue chemische Fachwissen in kleinen Schritten und eingebettet in schon vorhandenes Wissen zu vermitteln. Wissensmodell - Faktenwissen: Metalloxide reagieren mit Basen meist zu Basen und Nichtmetalloxide reagieren mit Wasser meist zu Säuren.

		Hinweis: An dieser Stelle kann mit den SuS noch einmal wiederholt werden wie sie im PSE Nichtmetalle von Metallen unterscheiden können. Nichtmetalloxide reagieren mit Wasser meist zu Säuren. Diese Säuren erzeugen im Wasser H_3O^+-Ionen. Reaktion von Magnesium mit Sauerstoff an die Tafel schreiben. Reaktion von MgO mit Wasser anschreiben. - Erklärung, dass Magnesiumoxid mit Wasser zu Magnesiumhydroxid reagiert. - $\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2$ Metalloxide bilden mit Wasser oft Basen. Diese Basen setzen im Wasser OH^--Ionen frei. basische Lösungen, was der Umschlag auf blau anzeigt.				
10 min	Alltagsbedeutung von Metall und Nichtmetalloxiden	Bei der Konservierung von Weinfässern wurde früher Schwefel in neuen und feuchten Weinfässern verbrannt. Durch die schwefelige Säure, welche am feuchten Fass entsteht wird dieses desinfiziert und konserviert. In der Bauindustrie wird sehr häufig Calciumoxid verwendet. Durch Mischen mit Wasser entsteht Calciumhydroxid Ausgangsstoff für Mörtel ist.		LV		Wissensmodell – Funktionswissen: Durch die Verbrennung von Schwefel in Weinfässern können diese desinfiziert werden. Um trübes Wissen zu vermeiden, welches abgekapselt ist wird hier explizit Verbindungen zu anderen Bereichen des Fachs Chemie und anderen Disziplinen hergestellt.
5 min	Sicherung	Säuren und Basen könne aus den Verbrennungsprodukten von Metallen bzw. Nichtmetallen hergestellt werden. Metalloxide reagieren mit Wasser meist zu Basen. Hinweis, dass das beim Versuch durch den Indikator sichtbar gemacht wurde. Farbumschlag von gelb zu blau.	SuS sollen sich die relevanten Inhalte im Heft unter Anleitung der Lehrperson anstreichen.	LV		

		Nichtmetalloxide reagieren mit Wasser meist zu Säuren. Hinweis, dass das beim Versuch durch den Indikator sichtbar gemacht wurde. Farbumschlag von grün zu gelb.				
--	--	---	--	--	--	--

7.2. Unterrichtsplanung – Verbrennung von fossilen Brennstoffen

Zeit	Phase ¹	Geplante LuL-Tätigkeit	Geplante SuS-Tätigkeit	Sozial-form	Materialien/Medien	Anmerkungen
5 min	Einstieg	Brainstorming: Zeigen von zwei Bildern (Säuren und Auto/Benzin) und die Frage ist, was beide Bilder miteinander zu tun haben.	SuS geben ihre Vermutungen in das Mentimeter bzw. LP schreibt Vermutungen an die Tafel.	LV, LSG	Beamer, onlinefähige Geräte	
10-15 min	Erarbeitung Verbrennung von Kohlenstoff	LP geht auf Brainstorming Ideen ein. Frage an SuS: Was benötigen Autos um sich fortzubewegen? In Autos wird Benzin oder Diesel verbrannt, um den Motor zubewegen. Benzin oder Diesel werden als fossile Brennstoffe bezeichnet. Fossile Brennstoffe: Entstehung über Millionen von Jahren aus pflanzlichen und tierischen Überresten. Dabei hervorheben, dass diese nicht nachwachsend sind. Fossile Brennstoffe bestehen hauptsächlich aus Verbindungen des Elements Kohlenstoff. Frage an SuS: Welche Verbindung entsteht bei der Verbrennung von Kohlenstoff? DEMO der Verbrennung und Nachweis von CO₂. Bei der Verbrennung von Kohlenstoff und Kohlenstoffverbindungen, wie Erdgas, Benzin oder Diesel entsteht als ein Produkt CO₂. $C + O_2 \rightarrow CO_2$ <u>Hinweis:</u> Hier folgt keine genaue Reaktionsgleichung von der Verbrennung von organischen Verbindungen. Kohlenstoff reagiert mit Sauerstoff zu Kohlendioxid. Eine ähnliche Reaktion findet bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen, wie z.B. Erdgas oder Benzin und Diesel statt. $CH_4 + 2 O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$	SuS arbeiten mit. SuS notieren sich wichtige Reaktionen im Heft (siehe Tafelbild).	LSG	Tafel/Beamer,	Wissensmodell – Faktenwissen: Bei der Verbrennung von Kohlenstoff(verbindungen) entsteht als Verbrennungsprodukt CO₂. Konditionswissen: Mikroorganismen und Zellen verbrennen Zucker um Energie zu gewinnen, wobei als Produkt auch CO₂ entsteht.

		Frage an SuS: Handelt es sich hier um ein Metall- oder Nichtmetalloxid? <u>Hinweis:</u> Dadurch soll das fachliche Wissen zur Entstehung von Säuren und Basen mit der Verbrennung fossiler Brennstoffe verknüpft werden. Frage an SuS: Welche biologischen Prozesse sind euch bekannt, wo auch CO₂ entsteht? Welche Verbindung reagiert hier zu CO₂? Die Atmung von Tieren Zellen und Bakterien produziert auch CO₂. Dabei verbrennen die Zellen Zucker und dabei entstehen CO₂ und H₂O. Dadurch erhalten die Zellen die Energie, die bei der Verbrennung frei wird. $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$				
10 min	DEMO Änderung des pH-Werts durch CO ₂	Fragestellung an SuS: Wie ändert sich der pH-Wert, wenn das CO₂ im Wasser gelöst wird? Überprüfung der Vermutungen mit einem Versuch: DEMO bzw. Video zeigen LP füllt 2 Gläser mit Leitungswasser und fügt ein wenig Rotkrautsaft hinzu. LP sprudelt durch ein Glas mithilfe des Strohhalmes (oder einer CO₂ Patrone) Atemluft oder CO₂ durch das Wasser. SuS beobachten die Farbänderung. Welche Schlussfolgerung kann aus dem Versuch gezogen werden? Wie andere Nichtmetalle reagiert auch CO₂ mit Wasser und bildet Kohlensäure. Die Kohlensäure setzt im Wasser H₃O⁺-Ionen frei und der pH-Wert sinkt. $CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$	SuS beobachten die Farbänderung und begründen anhand einer Skala in welche Richtung sich der pH-Wert geändert hat.	LV	Für Versuch: Rotkrautsaft, Bechergläser, Strohhalm	Wissensmodell Konditionswissen: – Fachwissen muss immer im Fach selbst erworben werden. Es benötigt ein explizites Aufmerksam machen auf Verbindungen. Hier werden Verbindungen zwischen der Biologie, Chemie und der Alltagswelt hergestellt.
10 min	Alltagsrelevanz von Kohlensäure	Frage an SuS wo im Alltag Kohlensäure verwendet wird. 1) Kohlensäure ist in vielen Erfrischungsgetränken und Sprudelwasser vorhanden. Die Herstellung erfolgt einfach		LSG		Wissensmodell Funktionswissen: – Durch Einblasen von CO₂ in Erfrischungsgetränke können

		durch das Zuführen von CO₂ zum Getränk. Auch Sodastream Maschinen produzieren so das Sodawasser. 2) Kohlensäure ist auch in unserem Blut vorhanden. Das CO₂ welches wir ausatmen ist zuvor im Blut gelöst und bildet dort auch Kohlensäure, die wichtig ist um den pH-Wert von unserem Blut aufrecht zu erhalten. <u>Hinweis:</u> Je nach Klasse, kann in diesem Zusammenhang der Begriff Puffer wiederholt werden.				diese sprudelig gemacht werden. Fachwissen muss immer im Fach selbst erworben werden. Es benötigt ein explizites Aufmerksam machen auf Verbindungen. Hier werden Verbindungen zwischen der Biologie, Chemie und der Alltagswelt hergestellt. Dadurch soll das Interesse der SuS und die Relevanz für die SuS gefördert werden.
10 min	Sicherung	Die Verbrennung von allen Verbindungen mit Kohlenstoff (wie fossilen Brennstoffen) erzeugt CO₂, welches in die Atmosphäre gelangt. CO₂ ist ein Nichtmetalloxid und bildet bei der Reaktion mit Wasser Kohlensäure, was mit Rotkrautindikator gezeigt werden kann. Kohlensäure findet im Alltag Anwendung und ist notwendig für unseren Körper	SuS unterstreichen sich wichtige Begriffe und Zusammenhänge in der Mitschrift.	GA, SV, P		
5 min	Sicherung und Ausblick	Ausblick auf mögliche Folgen für Gewässer durch immer mehr zunehmende CO ₂ Konzentrationen in der Atmosphäre.		LV		

7.3. Unterrichtsplanung – Mystery zu Klimawandel

Zeit	Phase ¹	Geplante LuL-Tätigkeit	Geplante SuS-Tätigkeit	Sozialform	Materialien/Medien	Anmerkungen
5 min	Einstieg	Brainstorming / Einführung in das Mystery zu Ozeanversauerung: Zeigen von zwei Bildern (Korallensterben und TEMU Paket) und die SuS fragen, was beide Bilder miteinander zu tun haben.	SuS geben ihre Vermutungen in das Mentimeter ein	LV, LSG	Beamer, internetfähige Geräte	
25 (45) min	Erarbeitung	LP stellt Mystery vor und erklärt die Regeln für das Mystery. Hinweis: Für ein komplexeres Mystery können die 4 zusätzlichen gelben Kärtchen hinzugefügt werden. SuS werden in Gruppen zu jeweils 4 Personen eingeteilt. Lehrperson begleitet SuS und gibt Hilfestellungen, wenn benötigt. Hierfür können den SuS auch die Hilfekärtchen zur Verfügung gestellt werden.	SuS arbeiten selbstständig in Gruppen und lesen einander die Mysterykärtchen vor. SuS folgen der Arbeitsanweisung zum Mystery und erstellen während des Arbeitsauftrags ein Plakat zum Mystery.	GA	Versuchsanweisungen für Versuche, Versuchsmaterialien: Bechergläser, Strohhalm, Rotkohlensaft, Uhrgläser, verdünnte Salzsäure, Kalkstein pro Gruppe: Mysterykarten in Briefumschlägen, Arbeitsanleitung Mystery, 2 Bögen A3 Papier (oder Flipchart Papier), Kleber, Scheren	Wissensmodell: Durch das Mystery sollen die SuS Wissen selbstständig miteinander verknüpfen. Durch die Verknüpfung von Fakten- mit Konditionswissen sollen die SuS Problemstellungen außerhalb der Chemie lösen können.
15 (25) min	Sicherung	LP leitet Diskussion und das Vorstellen der Plakate.	SuS präsentieren ihre Plakate im Plenum	GA, SV, P		
5 (25) min	Sicherung	LP leitet Diskussion und fasst am Ende der Diskussion die Erkenntnisse zusammen.	SuS diskutieren verschiedene Lösungsansätze für das Problem im Plenum	P		

7.4. Mystery zu Ozeanversauerung

Arbeitsauftrag: Löse das Mystery!

« Robert hat bei TEMU eingekauft und Korallenriffe sterben »

Was hat Roberts TEMU Kauf mit dem Sterben von Korallenriffen zu tun?

Regeln zum Bearbeiten des Mysterys:

- Finde eine oder mehrere Gemeinsamkeiten der Kärtchen heraus.
- Nimm dazu eine beliebige Karte aus dem Umschlag, lies diese deiner Gruppe vor und leg sie auf das Plakat.
Wichtig: Nimm immer nur eine Karte und nicht alle gleichzeitig!
- Wenn du ein Versuchskärtchen erhältst, führe den Versuch an einer dafür vorgesehenen Station durch.
- Nacheinander werden so alle Kärtchen abgelegt.
- Lege die Kärtchen zueinander, von denen du denkst, dass sie zusammengehören.
- Versuche die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Prozessen herauszufinden. Dazu kannst du die Kärtchen verschieben.
- Wenn du mit deinem Ergebnis zufrieden bist, klebe die Kärtchen auf das Plakat.
- Zeige durch Pfeile und Beschriftungen, wie die Kärtchen miteinander in Verbindung stehen.

Für die Produktion von vielen Produkten werden große Mengen an fossilen Brennstoffen benötigt.

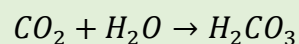
Der Transport von Produkten aus China nach Europa benötigt große Mengen an Treibstoffen (Diesel).

Bei der Verbrennung von Diesel (und anderen fossilen Brennstoffen) entsteht CO₂.

Beim Lösen von CO₂ in Wasser entsteht Kohlensäure (H₂CO₃)

Robert kauft gerne bei TEMU ein, wobei die Produkte direkt aus China zu ihm nach Hause gesendet werden.

Reaktion von CO₂ mit Wasser:



Alle Organismen mit einem Skelett oder einer Schale aus Kalk benötigen für das Wachstum Carbonationen.

Bleichen von Korallen



Versuch 1: pH Änderung durch CO₂ im Wasser



Muscheln, Korallen und viele andere Organismen besitzen eine Schale oder ein Skelett aus Kalk (CaCO₃).

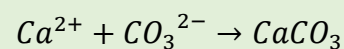
Der pH-Wert einer Flüssigkeit hängt davon ab, wie viele H_3O^+ Ionen darin vorhanden sind.

Je mehr H_3O^+ Ionen vorhanden sind, desto kleiner ist der pH-Wert.

Kohlensäure spaltet sich im Wasser selbst und setzt dabei H_3O^+ Ionen frei.

Säuren und saure Lösungen reagieren mit Kalk, wobei dieser gelöst wird.

Entstehung des Kalkskeletts:



Korallenriffe sind sogenannte Hotspots der Biodiversität und tragen zu einer gesunden Umwelt bei.

Riffe bieten jungen Fischen und Larven Rückzugsmöglichkeiten und stellen die Nahrungsgrundlage für viele andere Arten dar.

Die Hälfte des gesamten CO_2 welches auf der Erde entsteht wird in den Meeren gelöst.

Versuch 2: Reaktion von Kalk mit Säure:

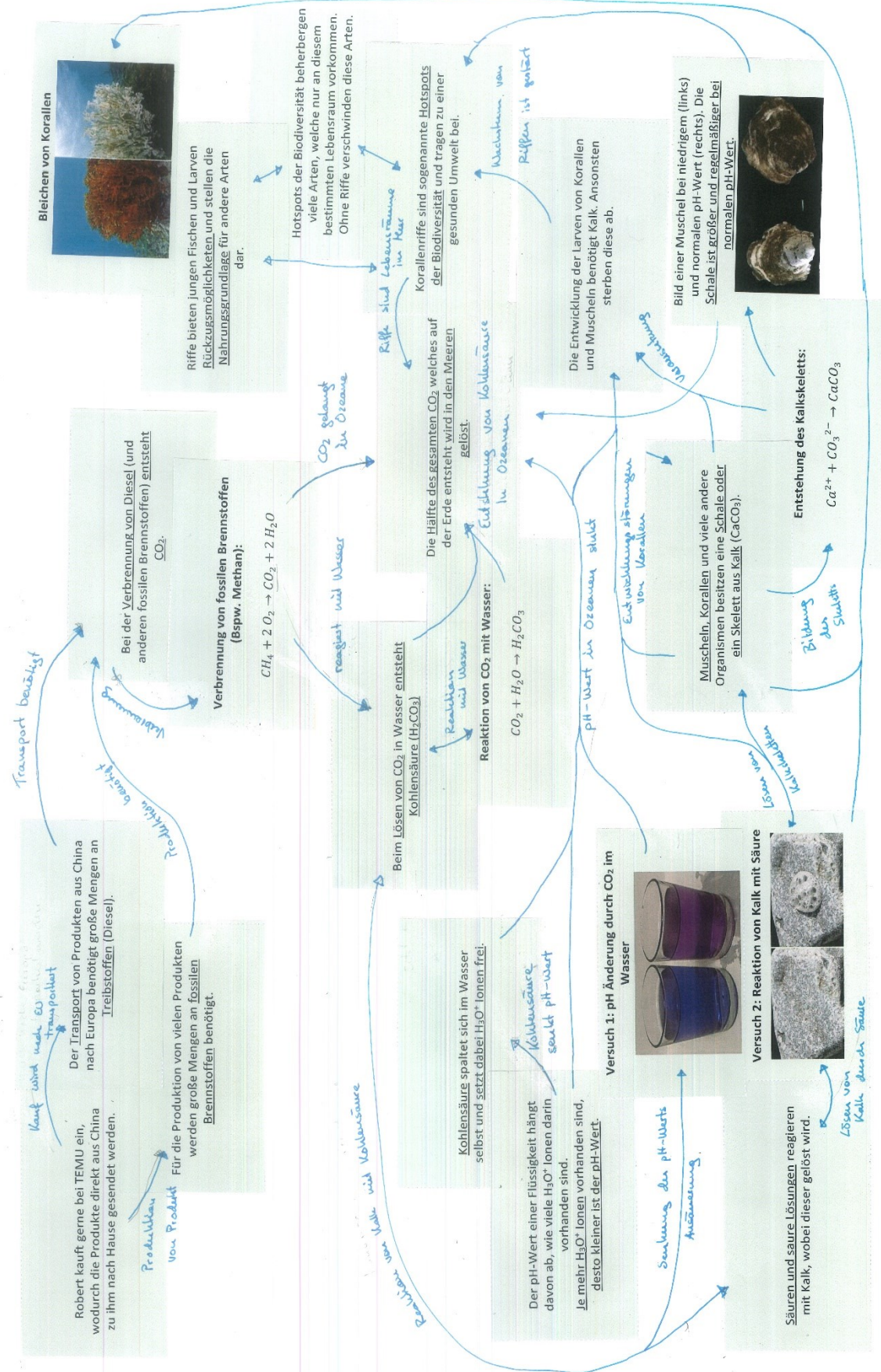


Die Entwicklung der Larven von Korallen und Muscheln benötigt Kalk. Ansonsten sterben diese ab.

Bild einer Muschel bei niedrigem (links) und normalen pH-Wert (rechts). Die Schale ist bei normalem pH-Wert größer und regelmäßiger.



Verbrennung von fossilen Brennstoffen (Bspw. Methan): $CH_4 + 2 O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$	Hotspots der Biodiversität beherbergen viele Arten, welche nur an diesem bestimmten Lebensraum vorkommen. Ohne Riffe verschwinden diese Arten.
Reaktion von Kohlensäure mit Carbonationen: $H_2CO_3 + CO_3^{2-} \rightarrow 2 HCO_3^-$	<u>Kohlensäure reagiert</u> auch direkt mit <u>Carbonationen</u> wodurch es <u>nicht mehr</u> für die Bildung von Kalk zur Verfügung steht.
Spaltung von Kohlensäure im Wasser: $H_2CO_3 + H_2O \rightarrow H_3O^+ + HCO_3^-$	Im Meerwasser befinden sich viele gelöste Stoffe, wobei Carbonationen einen großen Teil ausmachen.
Hilfekärtchen 1: Die Treibstoffe, wie Diesel oder Benzin sind Verbindungen aus Kohlenstoff. Durch die Verbrennung der Verbindungen im Motor wird wie bei Methan CO₂ freigesetzt.	Hilfekärtchen 2: Ein niedriger pH-Wert verringert die Überlebenschance für viele Organismen mit Kalkskeletten (wie z.B. Muscheln oder Korallen).
Hilfekärtchen 3: Durch das Verschwinden von Riffen ist auch der Mensch direkt betroffen. Korallenriffe schützen auch vor	Hilfekärtchen 4: Viele Fischer sind auf Riffe als Einkommensquelle angewiesen. Auch der Tourismus in vielen Regionen ist abhängig von Korallenriffen; ohne Korallenriff kein Tourismus.



möglicher Lösungsvorschlag für das Mystery: an dieser Stelle wurden die gelben Zusatzkärtchen nicht verwendet.

Bildquellen für das Mystery:

Bild 1 – Bleichen von Korallen: The Ocean Agency / XL Catlin Seaview Survey / Richard Vevers, Quelle:

https://web.archive.org/web/20170714114357oe_/http://www.globalcoralbleaching.org/wp-content/uploads/2015/06/Coral-bleaching-7-1120x747.jpg (Letzter Zugriff: 14.08.2024)

Bild 2 – pH-Änderung durch CO₂ im Wasser: eigenes Werk

Bild 3 – Reaktion von Kalk mit Säure: Réseau Téléinformatique de l'Education Nationale et de la Recherche, modifiziert von: <http://w3.restena.lu/ddnuc/putzm/marmor.htm> (Letzter Zugriff: 14.08.2024)

Bild 4 – Muschelschalen bei niedrigem pH-Wert: CCO, NOAA, modifiziert von:

<https://www.fisheries.noaa.gov/feature-story/how-will-changing-ocean-chemistry-affect-shellfish-we-eat> (Letzter Zugriff: 14.08.2024)

Versuchsanleitung Reaktion von Kalk mit Säure

Materialien:

- Plastikpasteurpipetten
- Uhrgläser
- Marmor (Kalkstein)
- verdünnte Salzsäure

Gefahrenstoffe

Chemikalie			H-Sätze			P-Sätze		
Salzsäure ($c = 1 \text{ mol/l}$)			H: 290			P: 234, 390		
								

Durchführung:

- 1) Richte dir 2 Uhrgläser her und füge ein kleines Stück Kalkstein hinzu.
- 2) Tropfe auf eines der Stücke 2 Tropfen der verdünnten Salzsäure.

Erkenntnisse:

1. Was kannst du nach dem Zutropfen der Salzsäure beobachten?
2. Welche Folgen kann ein saurer pH-Wert auf Kalkstein haben?

Versuchsanleitung pH Änderung durch CO₂ im Wasser

Materialien:

- Bechergläser
- Strohhalm
- Rotkrautsaft

Durchführung:

- 1) Richte dir 2 Bechergläser her und fülle beide ungefähr zur Hälfte mit Wasser.
- 2) Füge in jedes Becherglas ungefähr genauso viel Rotkrautsaft wie Wasser hinzu.
- 3) Blase durch den Strohhalm solange Luft in eines der Bechergläser, bis du einen Farbumschlag feststellen kannst.

Erkenntnisse:

1. Wie hat sich der pH-Wert des Wassers durch das Blasen verändert?
2. Welche Verbindung in der Atemluft hat diese Änderung verursacht?

pH-Wert	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Farbskala															
Eigenschaft	stark sauer			schwach sauer				neutral	schwach alkalisch			stark alkalisch			

Abbildung 1: Farbskala von Rotkrautsaft in Abhängigkeit vom pH-Wert.

Abbildung lizenziert mit CC-BY-SA 3.0, Quelle: <https://dbley.de/extra/farbskala-rotkohlindikator>

8. Appendix

8.1. Beispielhafte Abbildungen der Tafelbilder

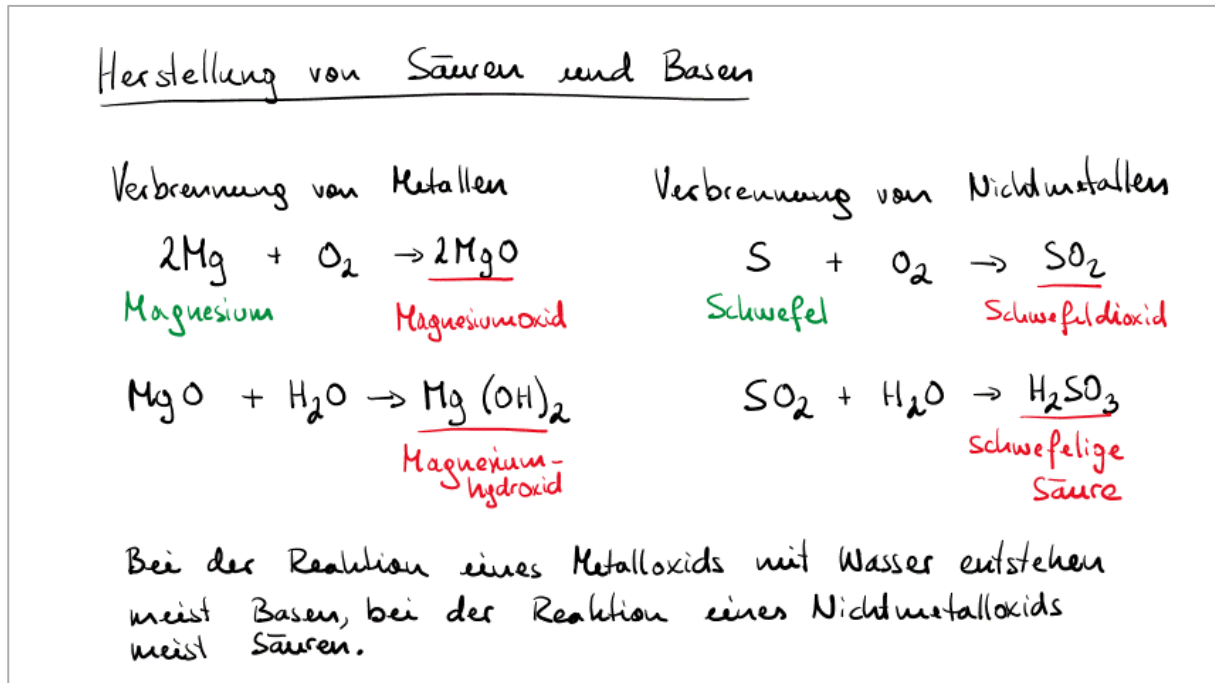


Abb. 15. Beispiel des Tafelbilds für die Entstehung von basischen bzw. sauren Lösungen aus der Reaktion von Wasser mit Metall- und Nichtmetalloxiden.

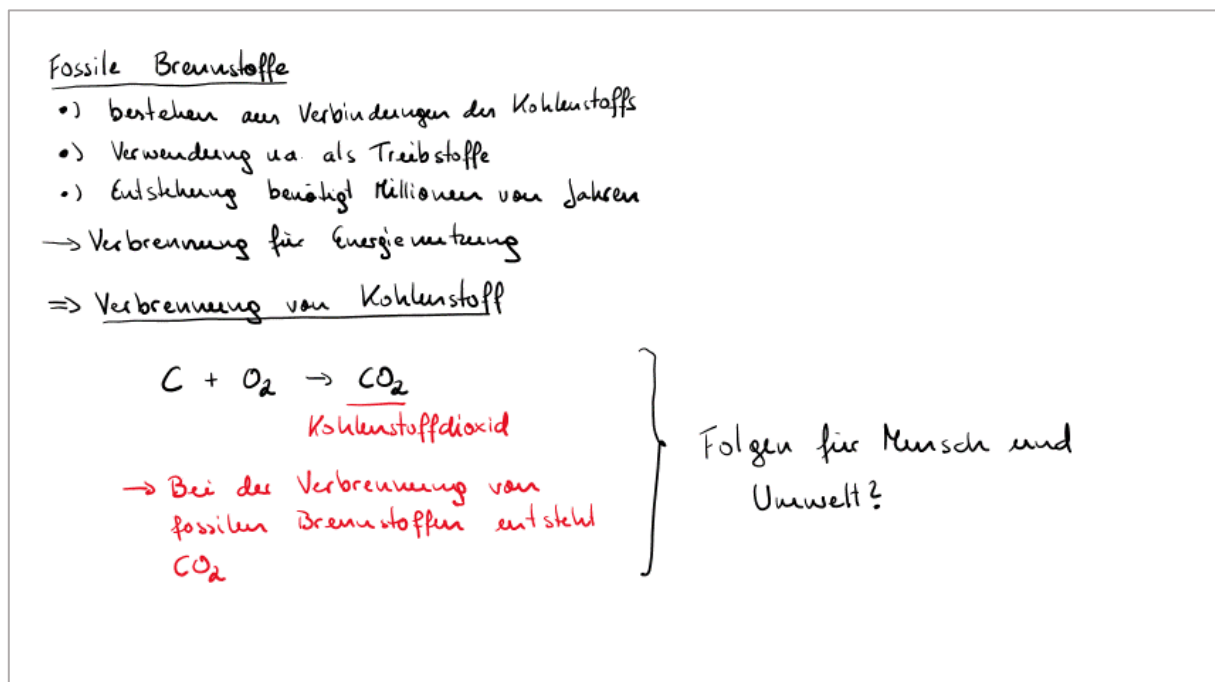


Abb. 16: Beispiel des Tafelbilds für die Verbrennung fossiler Brennstoffe.

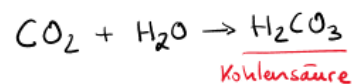
Folgen des CO₂ Freisetzung

CO₂ ist für den Klimawandel verantwortlich

- Temperaturanstieg
- Dürren, Stürme, Überflutungen,...

Welche Folgen für Gewässer?

CO₂ ist ein Nichtmetalloxid, es reagiert mit Wasser zu einer Säure, der Kohlensäure.



↳ Folge: Der pH-Wert des Wassers sinkt.

Rolle im Alltag

- Sprudelwasser / Erfrischungsgetränke
- Aufrechterhaltung von pH-Wert des Bluts

Abb. 17: Beispiel des Tafelbilds für die Auswirkungen von erhöhten CO₂ Emissionen auf Gewässer.

8.2. Fragebogen für das Expertenrating

Allgemeines

Mein Geschlecht:

Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

☐	männlich	☐	weiblich	☐	divers
--------------------------	----------	--------------------------	----------	--------------------------	--------

Mein höchster akademischer Abschluss:

Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

☐	Dipl. Päd	☐	Dr	☐	MEd	☐	MSc
☐	Mag	☐	BEd	☐	BSc	☐	Sonstiges

Wie lange unterrichte ich bereits das Fach Chemie:

Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

☐	Kürzer als 10 Jahre	☐	10 Jahre oder länger
--------------------------	---------------------	--------------------------	----------------------

Neben Chemie unterrichte ich folgendes Fach:

Zurzeit unterrichte ich folgende Schulstufen:

Wählen Sie alle zutreffenden Optionen

☐	Sek I	☐	Sek II
--------------------------	-------	--------------------------	--------

1. Fragen zum eigenen Unterricht

Wie stark stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?

	stimmt überhaupt nicht	stimmt eher nicht	stimme weder zu noch lehne ich ab	stimmt eher	stimmt voll und ganz
1.1) Ich unterrichte sehr gerne Chemie.					
1.2) Ich unterrichte das Fach Chemie viel lieber als mein Zweitfach.					
1.3) Ich unterrichte Chemie gerne interdisziplinär mit meinem Zweitfach.					
1.4) Meine Schüler*innen mögen das Fach Chemie sehr gerne.					
1.5) Meine Schüler*innen sind am Fach Chemie besonders interessiert.					

2. Fragen zum Unterrichtskonzept

Im Rahmen des Unterrichtskonzepts...

	stimmt überhaupt nicht	stimmt eher nicht	stimme weder zu noch lehne ich ab	stimmt eher	stimmt voll und ganz
2.1) ... werden die Fachinhalte zur Herstellung von Säuren und Basen verständlich vermittelt.					
2.2) ... erreichen die SuS die zu Beginn angeführten Lernziele mit Sicherheit.					
2.3) ... verknüpfen die SuS neues chemisches Fachwissen mit bereits gelerntem.					
2.4) ... lernen die SuS nicht, wie der pH-Wert definiert ist.					
2.5) ... können die SuS die Anwendung von Indikatoren beschreiben.					
2.6) ... können die SuS neue Fachbegriffe (z.B.: fossiler Brennstoff, ...) erklären.					

2.7) ... können die SuS Reaktionen von Metall- und Nichtmetalloxiden mit Wasser aufschreiben.					
2.8) ... können die SuS die Verwendung von Metall- und Nichtmetalloxiden im Alltag erklären.					
2.9) ... erkennen die SuS die Bedeutung der Nutzung von fossilen Brennstoffen.					
2.10) ... können die SuS die Senkung des pH-Werts durch CO ₂ aufgrund der Entstehung von Kohlensäure begründen.					
2.11) ... können die SuS die Auswirkungen von vermehrten CO ₂ Emissionen auf die Ozeane beschreiben.					
2.12) ... können die SuS mögliche Probleme eines niedrigen pH-Werts der Ozeane auf kalkbildende Organismen beschreiben.					

3. Fragen zum Unterrichtskonzept 2

Im Rahmen des Unterrichtskonzepts...

	stimmt überhaupt nicht	stimmt eher nicht	stimme weder zu noch lehne ich ab	stimmt eher	stimmt voll und ganz
3.1) ... werden Fachinhalte ausführlich anhand von für die SuS relevanten Beispielen vermittelt.					
3.2) ... sind die verwendeten Beispiele für die SuS selbst sehr relevant.					
3.3) ... werden die Schülervorstellungen im Unterricht umfassend berücksichtigt.					
3.4) ... lernen die SuS ausschließlich Faktenwissen.					
3.5) ... erwerben die SuS nur Wissen, welches sie innerhalb anderer Bereiche des Fachs Chemie anwenden können.					
3.6) ... wird Faktenwissen mit Konditions- und Funktionswissen vernetzt.					
3.7) ... lernen die SuS mögliche Auswirkungen eines niedrigen pH-Werts auf kalkbildende Lebewesen kennen.					
3.8) ... lernen die SuS , chemisches Fachwissen in überfachlichen Problemstellungen anzuwenden.					
3.9) ... können die SuS neu erworbenes Wissen mit bereits vorhandenem Wissen logisch vernetzen.					
3.10) ... wird auf die Aktivierung des Vorwissens großer Wert gelegt.					
3.11) ... wird chemisches Wissen auch außerhalb der Disziplin, nämlich in Biologie, angewendet.					
3.12) ... sollen Lernende Problemstellungen kontextbezogen lösen.					
3.13) ... wird chemisches Fachwissen nicht außerhalb der eigenen Disziplin angewendet.					

3.14) ... werden die SuS auf das Bearbeiten von überfachlichen Fragestellungen vorbereitet.					
3.15) ... werden die SuS auf interfachliche Verknüpfungen zur Biologie explizit aufmerksam gemacht.					
3.16) ... werden die SuS auf Anwendungsmöglichkeiten außerhalb des Fachs Chemie deutlich hingewiesen.					

4. Fragen zur Methodik

Durch den Einsatz dieser Methoden im Chemieunterricht ...

	stimmt überhaupt nicht	stimmt eher nicht	stimme weder zu noch lehne ich ab	stimmt eher	stimmt voll und ganz
4.1) ... wird Fachwissen aus Chemie mit anderen Disziplinen vernetzt.					
4.2) ... macht den SuS der Unterricht viel mehr Freude, weil viele Erfolgserlebnisse ermöglicht werden.					
4.3) ... erachten die SuS die Inhalte des Chemieunterrichts auch in anderen Bereichen für wichtig und nützlich.					
4.4) ... erachten die SuS den Chemieunterricht als nicht relevant für sie.					
4.5) ... fällt den SuS das Sprechen über chemische Themen in anderen Fächern deutlich leichter.					
4.6) ... fällt den SuS das Erkennen von chemischen Themen in überfachlichen (gesellschaftlich, ökonomisch, ...) Fragen viel leichter.					

Literaturverzeichnis

- 1 BGBl. II Nr. 1/2023 (2023): 1. Verordnung: Änderung der Verordnung über die Lehrpläne der Volksschule und Sonderschulen, der Verordnung über die Lehrpläne für Minderheiten-Volksschulen und für den Unterricht in Minderheitensprachen in Volksschulen in den Bundesländern Burgenland und Kärnten, der Verordnung über die Lehrpläne der Mittelschulen und der Verordnung über die Lehrpläne der allgemeinbildenden höheren Schulen; Bekanntmachung der Lehrpläne für den Religionsunterricht. Online verfügbar unter <https://www.ris.bka.gv.at/eli/bgbl/II/2023/1>.
- 2 BGBl. II Nr. 1/2023 (2023): 1. Verordnung: Anlage A. Online verfügbar unter <https://www.ris.bka.gv.at/NormDokument.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568&Artikel=&Paragraf=&Anlage=1&Uebergangsrecht=>.
- 3 BGBl. II Nr. 1/2009 (2009): 1. Verordnung: Bildungsstandards im Schulwesen. Online verfügbar unter <https://www.ris.bka.gv.at/eli/bgbl/II/2009/1>.
- 4 BGBl. II Nr. 133/2000 (2000): 133. Verordnung: Änderung der Verordnung über die Lehrpläne der allgemeinbildenden höheren Schulen; Bekanntmachung der Lehrpläne für den Religionsunterricht an diesen Schulen. Online verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/2000_133_2/2000_133_2.pdf.
- 5 Albano, P. (2017): Effects of climate change on the invasive lionfish: *Pterois volitans* and *Pterois miles*. Hg. v. Shark Research & Conservation Program. University of Miami. Online verfügbar unter <https://sharkresearch.earth.miami.edu/effects-of-climate-change-on-the-invasive-lionfish-pterois-volitans-and-pterois-miles/>, zuletzt geprüft am 20.07.2024.
- 6 Anton, M. A. (2019): Chemieunterricht verstehen. Zur Didaktik und Mathematik der Chemie. 1. Auflage. Riga: Lehrbuchverlag.
- 7 Antos, G. (2016): Fake und Folgen. In: *Information - Wissenschaft & Praxis* 67 (5-6), S. 297–303.
- 8 APCC (Hg.) (2025): Second Austrian Assessment Report on Climate Change (AAR2). Unter Mitarbeit von Daniel Huppmann, Margreth Keiler, Keywan Riahi und Harald Rieder. Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.
- 9 Berger, W. H. (1978): Deep-sea carbonate: pteropod distribution and the aragonite compensation depth. In: *Deep Sea Research* 25 (5), S. 447–452.

- 10 Brinkhuis, H.; Schouten, S.; Collinson, M. E.; Sluijs, A.; Sinninghe Damsté, J. S.; Dickens, G. R. *et al.* (2006): Episodic fresh surface waters in the Eocene Arctic Ocean. In: *Nature* 441 (7093), S. 606–609.
- 11 Byrne, R. H. (2014): Measuring ocean acidification: new technology for a new era of ocean chemistry. In: *Environmental science & technology* 48 (10), S. 5352–5360.
- 12 Callendar, G. S. (1938): The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature. In: *Quart J Royal Meteor Soc* 64 (275), S. 223–240.
- 13 Carifio, J.; Perla, R. J. (2007): Ten Common Misunderstandings, Misconceptions, Persistent Myths and Urban Legends about Likert Scales and Likert Response Formats and their Antidotes. In: *J. of Social Sciences* 3 (3), S. 106–116.
- 14 Cheng, D.; Reiner, D. M.; Yang, F.; Cui, C.; Meng, J.; Shan, Y. *et al.* (2023): Projecting future carbon emissions from cement production in developing countries. In: *Nature communications* 14 (1), S. 8213.
- 15 Chhokar, K.; Dua, S.; Taylor, N.; Boyes, E.; Stanisstreet, M. (2011): Indian secondary students' views about Global Warming: Beliefs about the usefulness of actions and willingness to act. In: *Int J of Sci and Math Educ* 9 (5), S. 1167–1188.
- 16 Constable, A. J.; Harper, S.; Dawson, J.; Holsman, K.; Mustonen, T.; Piepenburg, D.; Rost, B. (2022): Cross-Chapter Paper 6: Polar Regions. In: H. O. Pörtner, D. C. Roberts, Melinda Tignor, E. S. Poloczanska, Katja Mintenbeck, Andrés Alegría *et al.* (Hg.): *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, S. 2319–2368.
- 17 Cronin, T. W.; Dutta, I. (2023): How Well do We Understand the Planck Feedback? In: *J Adv Model Earth Syst* 15 (7), Artikel e2023MS003729.
- 18 Dammerer, J.; Schwab, K. (2019): Entwicklungsmodelle von beginnenden Lehrpersonen. Eine vergleichende qualitative Untersuchung zum Phasenmodell nach Huberman und Stufenmodell nach Fuller & Brown. In: *Online Journal for Research and Education* (12).

- 19 Danielson, K. I.; Tanner, K. D. (2015): Investigating Undergraduate Science Students' Conceptions and Misconceptions of Ocean Acidification. In: *CBE life sciences education* 14 (3).
- 20 DeConto, R. M.; Galeotti, S.; Pagani, M.; Tracy, D.; Schaefer, K.; Zhang, T. *et al.* (2012): Past extreme warming events linked to massive carbon release from thawing permafrost. In: *Nature* 484 (7392), S. 87–91.
- 21 Dhakal, S.; Minx, J. C.; Toth, F. L.; Abdel-Aziz, A.; Meza, M. J. F.; Hubacek, K. *et al.* (2023): Emissions Trends and Drivers. In: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hg.): *Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change*: Cambridge University Press, S. 215–294.
- 22 Duit, R. (Hg.) (1993): Kognitive Entwicklung und Lernen der Naturwissenschaften. Tagungsband zum 20. IPN-Symposium aus Anlaß des 60. Geburtstages von Prof. Dr. Heinrich Stork. Unter Mitarbeit von Heinrich Stork. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Kiel: IPN (IPN, 135).
- 23 Duit, R.; Treagust, D. F. (2003): Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. In: *International Journal of Science Education* 25 (6), S. 671–688.
- 24 Duit, R. (2004): Piko-Brief 2: Schülervorstellungen und Lernen von Physik.
- 25 EASAC (2025): Changing Wildfires: Policy Options for a Fire-literate and Fire-adapted Europe. Unter Mitarbeit von Thomas Elmqvist, Orsolya Valko, Cathelijne R. Stoof, Tuomas Aakala, Bachisio Arca, M. Arianoutsou *et al.* Hg. v. European Academies Science Advisory. Online verfügbar unter https://easac.eu/fileadmin/user_upload/EASAC_Wildfires_final_290525.pdf.
- 26 Eilks, I.; Marks, R. (2018): Chemielernen für gesellschaftliche Teilhabe und nachhaltige Entwicklung. In: Markus Rehm (Hg.): *Wirksamer Chemieunterricht*: Schneider Verlag, S. 37–47.
- 27 Farfan, J.; Fasihi, M.; Breyer, C. (2019): Trends in the global cement industry and opportunities for long-term sustainable CCU potential for Power-to-X. In: *Journal of Cleaner Production* 217, S. 821–835.

- 28 Farooq, Z.; Segelmark, L.; Rocklöv, J.; Lillepold, K.; Sewe, M. O.; Briet, O. J. T.; Semenza, J. C. (2025): Impact of climate and *Aedes albopictus* establishment on dengue and chikungunya outbreaks in Europe: a time-to-event analysis. In: *The Lancet Planetary Health* 9 (5), e374-e383.
- 29 Feng, R.; Li, Z. (2023): Current investigations on global N₂O emissions and reductions: Prospect and outlook. In: *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)* 338, S. 122664.
- 30 Forster, P.; Storelvmo, T.; Armour, K.; Collins, W.; Dufresne, J.-L.; Frame, D. *et al.* (2021): The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. In: Valérie Masson-Delmotte, Panmao Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger *et al.* (Hg.): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, S. 923–1054.
- 31 Fox-Kemper, B.; Hewitt, H. T.; Xiao, C.; Aðalgeirsdóttir, G.; Drijfhout, S. S.; Edwards, T. L. *et al.* (2021): Ocean, Cryosphere and Sea Level Change. In: Valérie Masson-Delmotte, Panmao Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger *et al.* (Hg.): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, S. 1211–1362.
- 32 Freundl, V.; Pfaehler, F.; Schoner, F.; Wößmann, L. (2023): Sinkendes Leistungsniveau, hohe Chancenungleichheit – Stand und Handlungsoptionen für die deutsche Schulbildung. In: *Wirtschaftsdienst* 103 (4), S. 233–237.
- 33 Fridrich, C. (2015): Kompetenzorientiertes Lernen mit Mysterys – didaktisches Potenzial und methodische Umsetzung eines ergebnisoffenen Lernarrangements. In: *GW-Unterricht* 140 (4), S. 50–60.
- 34 Friedlingstein, P.; O'Sullivan, M.; Jones, M. W.; Andrew, R. M.; Bakker, D. C. E.; Hauck, J. *et al.* (2023): Global Carbon Budget 2023. In: *Earth System Science Data* 15 (12), S. 5301–5369.
- 35 Gebhard, U.; Höttecke, D.; Rehm, M. (2017): *Pädagogik der Naturwissenschaften. Ein Studienbuch*. Wiesbaden: Springer VS (Lehrbuch).

- 36 Gedney, N.; Cox, P. M.; Huntingford, C. (2004): Climate feedback from wetland methane emissions. In: *Geophysical research letters* 31 (20), Artikel 2004GL020919.
- 37 GeoSphere Austria: Anzahl der Tropennächte in Wien im Jahr 2019. Online verfügbar unter <https://data.hub.geosphere.at/showcase/anzahl-der-tropennachte-in-wien-im-jahr-2019>, zuletzt geprüft am 04.04.2025.
- 38 Golser, L. S. (2021): Erhebung von Schülervorstellungen zum Klimawandel und Konsequenzen für den Chemieunterricht. Masterarbeit. Universität Wien, Wien.
- 39 Gräber, W.; Nentwig, P.; Nicolson, P. (2002): Scientific Literacy - von der Theorie zur Praxis. In: Wolfgang Gräber, Peter Nentwig, Thomas Koballa und Robert Evans (Hg.): Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 135–145.
- 40 Haimberger, L.; Seibert, P.; Hitzemberger, R.; Weihs, P.; Steiner, A. (2014): Das globale Klimasystem und Ursachen des Klimawandels. In: Helga Kromp-Kolb, Nebojsa Nakicenovic, Karl Steiniger, Andreas Gobiet, Herbert Formayer, Angela Köppl et al. (Hg.): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014. Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, S. 137–172.
- 41 Halili, H. (2023): Die Klimakrise - Die Rolle des Schulfachs Chemie im Kontext ausgewählter MINT-Fächer! Bachelorarbeit. Universität Wien, Wien.
- 42 Henley, B. J.; McGregor, H. V.; King, A. D.; Hoegh-Guldberg, O.; Arzey, A. K.; Karoly, D. J. et al. (2024): Highest ocean heat in four centuries places Great Barrier Reef in danger. In: *Nature* 632 (8024), S. 320–326.
- 43 Hofer, Elisabeth; Lembens, Anja; Müller, Adrian (2023): Kommentar zum Fachlehrplan Chemie (Mittelschule/AHS-Unterstufe). Begründet von Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBWF).
- 44 Hopf, M.; Kapelari, S.; Lembens, A. (2017): Naturwissenschaftliche Grundbildung – Welchen Beitrag kann kompetenzorientierter Unterricht dazu leisten? In: *Plus Lucis* (1), S. 4–10.
- 45 Huberman, M. (1991): Der berufliche Lebenszyklus von Lehrern: Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. In: Ewald Terhart (Hg.): Unterrichten als Beruf. Neuere amerikanische und englische Arbeiten zur Berufskultur und Berufsbiographie von Lehrern

und Lehrerinnen. Köln, Wien: Böhlau (Studien und Dokumentationen zur vergleichenden Bildungsforschung, 50).

- 46 Hulin, C.; Netemeyer, R.; Cudeck, R. (2001): Can a Reliability Coefficient Be Too High? In: *Journal of Consumer Psychology* 10 (1), S. 55–58.
- 47 IPCC (2013): Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- 48 IPCC (2021a): Annex VII: Glossary [Matthews, J.B.R., V. Möller, R. van Diemen, J.S. Fuglestad, V. Masson-Delmotte, C. Méndez, S. Semenov, A. Reisinger (eds.)]. In: Valérie Masson-Delmotte, Panmao Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger et al. (Hg.): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, S. 2215–2256.
- 49 IPCC (2021b): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von Valérie Masson-Delmotte, Panmao Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger et al. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press (In Press).
- 50 IPCC (2023): Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von Hoesung Lee, Katherine Calvin, Dipak Dasgupta, Gerhard Krinner, Aditi Mukherji, Peter W. Thorne et al. Hg. v. IPCC. Genf.
- 51 Jackson, R. B.; Saunio, M.; Bousquet, P.; Canadell, J. G.; Poulter, B.; Stavert, A. R. et al. (2020): Increasing anthropogenic methane emissions arise equally from agricultural and fossil fuel sources. In: *Environ. Res. Lett.* 15 (7), S. 71002.
- 52 Kattmann, U.; Duit, R.; Gropengieser, H.; Komorek, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* (3), S. 3–18.
- 53 Kattmann, U. (2007): Didaktische Rekonstruktion — eine praktische Theorie. In: Dirk Krüger und Helmut Vogt (Hg.): Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein

Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 93–104.

- 54 Klieme, E.; Avenarius, H.; Blum, W.; Döbrich, P.; Gruber, H.; Prenzel, M. *et al.* (2003): Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Eine Expertise. Unter Mitarbeit von DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation und Bundesministerium für Bildung und Forschung. Bonn, Berlin: BMBF : Bonn, Berlin.
- 55 KMK (2002): PISA 2000 – Zentrale Handlungsfelder. Zusammenfassende Darstellung der laufenden und geplanten Maßnahmen in den Ländern. Hg. v. Kultusministerkonferenz. Online verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2002/2002_10_07-Pisa-2000-Zentrale-Handlungsfelder.pdf, zuletzt geprüft am 05.06.2025.
- 56 KMK (2005): Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004. Hg. v. Kultusministerkonferenz. Online verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf, zuletzt geprüft am 25.05.2025.
- 57 Koulaidis, V.; Christidou, V. (1999): Models of students' thinking concerning the greenhouse effect and teaching implications. In: *Sci. Ed.* 83 (5), S. 559–576.
- 58 Kromp-Kolb, H.; Nakicenovic, N.; Steiniger, K.; Gobiet, A.; Formayer, H.; Köppl, A. *et al.* (Hg.) (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014. Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Online verfügbar unter <https://austriaca.at/7699-2>.
- 59 Künzli, R. (2019): Disziplinarität und Transdisziplinarität.
- 60 Labudde, P.; Schecker, H. (2021): Unterrichtskonzeptionen für fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Thomas Wilhelm, Horst Schecker, Martin Hopf, Roland Berger, Jan-Philipp Burde, Claudia Haagen-Schützenhöfer *et al.* (Hg.): Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Berlin: Springer Spektrum (Lehrbuch), S. 435–471.
- 61 Le Quéré, C.; Raupach, M. R.; Canadell, J. G.; Marland, G.; Bopp, L.; Ciais, P. *et al.* (2009): Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. In: *Nature Geosci* 2 (12), S. 831–836.

- 62 Lederman, N. G.; Lederman, J. S. (2012): Nature of Scientific Knowledge and Scientific Inquiry: Building Instructional Capacity Through Professional Development. In: Barry J. Fraser, Kenneth Tobin und Campbell J. McRobbie (Hg.): Second International Handbook of Science Education. Dordrecht: Springer Netherlands (Springer International Handbooks of Education), S. 335–359.
- 63 Lenton, T. M.; Held, H.; Kriegler, E.; Hall, J. W.; Lucht, W.; Rahmstorf, S.; Schellnhuber, H. J. (2008): Tipping elements in the Earth's climate system. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105 (6), S. 1786–1793.
- 64 Li, G.; Cheng, L.; Zhu, J.; Trenberth, K. E.; Mann, M. E.; Abraham, J. P. (2020): Increasing ocean stratification over the past half-century. In: *Nat. Clim. Chang.* 10 (12), S. 1116–1123.
- 65 Likert, R. (1932): A technique for the measurement of attitudes. In: *Archives of Psychology* 22 (140), S. 5–55.
- 66 Liou, K.-N. (2010): Solar Radiation at the Top of the Atmosphere. In: Kuo-Nan Liou (Hg.): An introduction to atmospheric radiation, Bd. 84. 2. ed., [Transferred to digital printing]. Amsterdam: Academic Press (International geophysics series, 84), S. 37–64.
- 67 Liu, Y.; Sheng, J.; Rigby, M.; Ganesan, A.; Kim, J.; Western, L. M. *et al.* (2024): Increases in Global and East Asian Nitrogen Trifluoride (NF₃) Emissions Inferred from Atmospheric Observations. In: *Environmental science & technology* 58 (30), S. 13318–13326.
- 68 Lunt, M. F.; Park, S.; Li, S.; Henne, S.; Manning, A. J.; Ganesan, A. L. *et al.* (2018): Continued Emissions of the Ozone-Depleting Substance Carbon Tetrachloride From Eastern Asia. In: *Geophysical research letters* 45 (20), S. 11423–11430.
- 69 Lüthi, D.; Le Floch, M.; Bereiter, B.; Blunier, T.; Barnola, J.-M.; Siegenthaler, U. *et al.* (2008): High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present. In: *Nature* 453 (7193), S. 379–382.
- 70 Ma, M.; Hu, X.; Yao, B.; Li, B.; An, M.; Fang, X. (2024): CFC-12 Emissions in China Inferred From Observation and Inverse Modeling. In: *Geophysical research letters* 51 (12), Artikel e2024GL109541.

- 71 Marchessaux, G.; Bosch-Belmar, M.; Cilenti, L.; Lago, N.; Mangano, M. C.; Marsiglia, N.; Sarà, G. (2022): The invasive blue crab *Callinectes sapidus* thermal response: Predicting metabolic suitability maps under future warming Mediterranean scenarios. In: *Front. Mar. Sci.* 9, Artikel 1055404.
- 72 Maslin, M.; Ramnath, R. D.; Welsh, G. I.; Sisodiya, S. M. (2025): Understanding the health impacts of the climate crisis. In: *Future healthcare journal* 12 (1), S. 100240.
- 73 Mauthner, C. (2010): Schülervorstellungen zum Klimawandel als Basis für einen schülerorientierten Chemieunterricht – Eine empirische Studie in einer Klasse der 8. Schulstufe. Diplomarbeit. Universität Wien, Wien.
- 74 McInerney, F. A.; Wing, S. L. (2011): The Paleocene-Eocene Thermal Maximum: A Perturbation of Carbon Cycle, Climate, and Biosphere with Implications for the Future. In: *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 39 (1), S. 489–516.
- 75 Memmert, W. (1986): Welt verstehen - Welt verändern. Vom Sinn der Schulfächer. 1. Aufl. Essen: Neue-Deutsche-Schule-Verlagsgesellschaft (Neue pädagogische Bemühungen, 97).
- 76 Memmert, W. (1997): Das Bildungsroß - am Schwanz aufgezäumt? In: *Pädagogische Welt* 51 (1), S. 37–39.
- 77 Menegat, S.; Ledo, A.; Tirado, R. (2022): Greenhouse gas emissions from global production and use of nitrogen synthetic fertilisers in agriculture. In: *Scientific reports* 12 (1), S. 14490.
- 78 Michael, A.; Andreas, B.; Michael, G.; Holger, H.; Christian, H.; Anna, H. *et al.* (2024): Klimaschutzbericht 2024. Wien (Reports, 0913).
- 79 Möller, A.; Kranz, J.; Pürstinger, A.; Winter, V. (2021): Professionsverantwortung in der Klimakrise: Klimawandel unterrichten Befähigung Lehramtsstudierender zur Klimabildung als wichtiger Beitrag zum Erreichen der SDGs. In: Marcus Kubsch, Stefan Sorge, Julia Arnold und Nicole Graulich (Hg.): *Lehrkräftebildung neu gedacht. Ein Praxishandbuch für die Lehre in den Naturwissenschaften und deren Didaktiken*. Münster: Waxmann Verlag, S. 208–217.

- 80 ABl. L 297 (31.10.1988): Montrealer Protokoll über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen - Erklärung der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft, S. 21–28. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/eli/prot/1988/540/oj>.
- 81 Neber, H. (1993): Training der Wissensnutzung als objektgenerierende Instruktion. In: Karl Josef Klauer und Fredi P. Büchel (Hg.): Kognitives Training. Göttingen: Hogrefe, S. 217–243.
- 82 Nerdel, C. (2017): Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik. Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule. [1. Auflage]. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum (Lehrbuch). Online verfügbar unter <http://www.springer.com/>.
- 83 OECD (2023): PISA 2022 Results (Volume I): OECD.
- 84 Palomar, A. M.; Portillo, A.; Santibáñez, P.; Mazuelas, D.; Arizaga, J.; Crespo, A. *et al.* (2013): Crimean-Congo hemorrhagic fever virus in ticks from migratory birds, Morocco. In: *Emerging infectious diseases* 19 (2), S. 260–263.
- 85 Penman, D. E.; Caves Rugenstein, J. K.; Ibarra, D. E.; Winnick, M. J. (2020): Silicate weathering as a feedback and forcing in Earth's climate and carbon cycle. In: *Earth-Science Reviews* 209, S. 103298.
- 86 Posner, G. J.; Strike, K. A.; Hewson, P. W.; Gertzog, W. A. (1982): Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. In: *Science Education* 66 (2), S. 211–227.
- 87 Pousse, E.; Poach, M. E.; Redman, D. H.; Sennefelder, G.; White, L. E.; Lindsay, J. M. *et al.* (2020): Energetic response of Atlantic surfclam *Spisula solidissima* to ocean acidification. In: *Marine pollution bulletin* 161 (Pt B), S. 111740.
- 88 Prenzel, M.; Sälzer, C.; Klieme, E.; Köller, O. (Hg.) (2013): Pisa 2012. Fortschritte und Herausforderungen in Deutschland. Münster: Waxmann. Online verfügbar unter <https://elibrary.utb.de/doi/book/10.31244/9783830980018>.
- 89 Qin, Z.; Zhu, Y.; Canadell, J. G.; Chen, M.; Li, T.; Mishra, U.; Yuan, W. (2024): Global spatially explicit carbon emissions from land-use change over the past six decades (1961–2020). In: *One Earth* 7 (5), S. 835–847.

- 90 Reimann, L.; Jones, B.; Bieker, N.; Wolff, C.; Aerts, J. C. J. H.; Vafeidis, A. T. (2023): Exploring spatial feedbacks between adaptation policies and internal migration patterns due to sea-level rise. In: *Nature communications* 14 (1), S. 2630.
- 91 ABl. L 161/12 (14.06.2006): Richtlinie 2006/40/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Emissionen aus Klimaanlage in Kraftfahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 70/156/EWG des Rates.
- 92 Rippstein, V.; Schrijver, E. de; Eckert, S.; Vicedo-Cabrera, A. M. (2023): Trends in tropical nights and their effects on mortality in Switzerland across 50 years. In: *PLOS Clim* 2 (4), e0000162.
- 93 Rödder, S. (2021): Disziplinarität. In: Tobias Schmohl und Philipp Thorsten (Hg.): Handbuch Transdisziplinäre Didaktik. Bielefeld: transcript (Hochschulbildung), S. 67–78.
- 94 Roedel, W.; Wagner, T. (2017): Physik unserer Umwelt: Die Atmosphäre. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- 95 Royé, D.; Sera, F.; Tobías, A.; Lowe, R.; Gasparrini, A.; Pascal, M. *et al.* (2021): Effects of Hot Nights on Mortality in Southern Europe. In: *Epidemiology* 32 (4). Online verfügbar unter https://journals.lww.com/epidem/fulltext/2021/07000/effects_of_hot_nights_on_mortality_in_southern.5.aspx.
- 96 Russow, R.; Sich, I.; Neue, H.-U. (2000): The formation of the trace gases NO and N₂O in soils by the coupled processes of nitrification and denitrification: results of kinetic ¹⁵N tracer investigations. In: *Chemosphere - Global Change Science* 2 (3-4), S. 359–366.
- 97 Sabine, C. L.; Feely, R. A.; Gruber, N.; Key, R. M.; Lee, K.; Bullister, J. L. *et al.* (2004): The oceanic sink for anthropogenic CO₂. In: *Science (New York, N.Y.)* 305 (5682), S. 367–371.
- 98 Schecker, H.; Wilhelm, T.; Hopf, M.; Duit, R.; Fischler, H.; Haagen-Schützenhöfer, C. *et al.* (Hg.) (2018): Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Springer Spektrum. Berlin: Springer Spektrum (Lehrbuch).
- 99 Schirp, H. (2003): Neurowissenschaften und Lernen. Was können neurobiologische Forschungsergebnisse zur Unterrichtsgestaltung beitragen? In: *Die Deutsche Schule* 95.

- 100 Schuler, S. (2012): Denken lernen mit Mystery-Aufgaben. In: *Praxis Geographie extra*, S. 4–7.
- 101 Science Council of Canada (1984): Science for Every Student - Educating Canadians for Tomorrow's World.
- 102 Scorza, C.; Lesch, H.; Strähle, M.; Boneberg, D. (2020): Die Physik des Klimawandels: Verstehen und Handeln. In: Ernst Kircher, Raimund Girwidz und Hans Ernst Fischer (Hg.): Physikdidaktik. Methoden und Inhalte. 4. Auflage. Berlin: Springer Spektrum, S. 395–429.
- 103 Shepardson, D. P.; Niyogi, D.; Choi, S.; Charusombat, U. (2011): Students' conceptions about the greenhouse effect, global warming, and climate change. In: *Climatic Change* 104 (3-4), S. 481–507.
- 104 Skamp, K.; Boyes, E.; Stanisstreet, M. (2013): Beliefs and Willingness to Act About Global Warming: Where to Focus Science Pedagogy? In: *Science Education* 97 (2), S. 191–217.
- 105 Sluijs, A.; Schouten, S.; Donders, T. H.; Schoon, P. L.; Röhl, U.; Reichart, G.-J. *et al.* (2009): Warm and wet conditions in the Arctic region during Eocene Thermal Maximum 2. In: *Nature Geosci* 2 (11), S. 777–780.
- 106 Sormann, L. (2011): Umsetzung von Kompetenzmodellen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Diplomarbeit. Karl-Franzens-Universität Graz, Graz. Institut für Physik.
- 107 Sovacool, B. K.; Griffiths, S.; Kim, J.; Bazilian, M. (2021): Climate change and industrial F-gases: A critical and systematic review of developments, sociotechnical systems and policy options for reducing synthetic greenhouse gas emissions. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 141, S. 110759.
- 108 Steiger, R.; Damm, A.; Prettenhaler, F.; Pröbstl-Haider, U. (2021): Climate change and winter outdoor activities in Austria. In: *Journal of Outdoor Recreation and Tourism* 34, S. 100330.
- 109 Stichweh, R. (2021): Disziplinarität, Interdisziplinarität, Transdisziplinarität — Strukturwandel des Wissenschaftssystems. In: Tobias Schmohl und Philipp Thorsten (Hg.): Handbuch Transdisziplinäre Didaktik. Bielefeld: transcript (Hochschulbildung), S. 433–448.
- 110 Sulpis, O.; Boudreau, B. P.; Mucci, A.; Jenkins, C.; Trossman, D. S.; Arbic, B. K.; Key, R. M. (2018): Current CaCO₃ dissolution at the seafloor caused by anthropogenic CO₂. In:

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 115 (46), S. 11700–11705.

- 111 Tepner, O.; Dollny, S. (2013): Entwicklung eines Testverfahrens zur Analyse fachdidaktischen Wissens. In: Dirk Krüger, Ilka Parchmann und Horst Schecker (Hg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 311–323.
- 112 Trenberth, K. E.; Fasullo, J. T.; Kiehl, J. (2009): Earth's Global Energy Budget. In: *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 90 (3), S. 311–324.
- 113 Waldbusser, G. G.; Brunner, E. L.; Haley, B. A.; Hales, B.; Langdon, C. J.; Prahl, F. G. (2013): A developmental and energetic basis linking larval oyster shell formation to acidification sensitivity. In: *Geophysical research letters* 40 (10), S. 2171–2176.
- 114 Wanner, H.; Pfister, C.; Neukom, R. (2022): The variable European Little Ice Age. In: *Quaternary Science Reviews* 287, S. 107531.
- 115 Wan, S.; Kürschner, W. M.; Clift, P. D.; Li, A.; Li, T. (2009): Extreme weathering/erosion during the Miocene Climatic Optimum: Evidence from sediment record in the South China Sea. In: *Geophysical research letters* 36 (19), Artikel 2009GL040279.
- 116 Weinert, F. E.; Helmke, A. (1993): Wie bereichsspezifisch verläuft die kognitive Entwicklung? In: Reinders Duit (Hg.): Kognitive Entwicklung und Lernen der Naturwissenschaften. Tagungsband zum 20. IPN-Symposium aus Anlaß des 60. Geburtstages von Prof. Dr. Heinrich Stork. Unter Mitarbeit von Heinrich Stork. Kiel: IPN (IPN, 135), S. 27–45.
- 117 Weinert, F. E. (1998): Neue Unterrichtskonzepte zwischen gesellschaftlichen Notwendigkeiten, pädagogischen Visionen und psychologischen Möglichkeiten. In: Bayerisches Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst (Hg.): Wissen und Werte für die Welt von morgen. Dokumentation zum Bildungskongress am 29./30. April 1998. München. Bayerisches Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst, S. 101–125.
- 118 Weinert, F. E. (2001): Vergleichende Leistungsmessung in Schulen - eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In: Franz Emanuel Weinert (Hg.): Leistungsmessungen in Schulen.

Unter Mitarbeit von Franz Emanuel Weinert. 2. Aufl. Weinheim und Basel: Beltz Verlag (Pädagogik), S. 17–31.

- 119 Wiesner, C.; Schreiner, C. (2017): Genese der Bildungsstandards in Österreich. In: *BIFIE-Journal* (1), S. 17–21.
- 120 Wissenschaftsrat (2015): Zum wissenschaftspolitischen Diskurs über Große gesellschaftliche Herausforderungen. Positionspapier. Stuttgart.
- 121 Wissenschaftsrat (2020): Wissenschaft im Spannungsfeld von Disziplinarität und Interdisziplinarität. Positionspapier. Köln.
- 122 Zachos, J.; Pagani, M.; Sloan, L.; Thomas, E.; Billups, K. (2001): Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. In: *Science (New York, N.Y.)* 292 (5517), S. 686–693.
- 123 Zbikowski, F. (2022): Notizen aus Forschungspolitik und Bildung. In: *Nachr Chem* 70 (1), S. 6–8.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Darstellung der Hauptkomponenten des Klimasystems der Erde und deren Einfluss aufeinander (exkl. Lithosphäre)(Haimberger et al. 2014).....	4
Abb. 2: Atmosphärische CO ₂ Konzentration und mittlere globale Oberflächentemperatur in den letzten 60 Mio. Jahren mit Simulationen für die nächsten 300 Jahre (übersetzt aus Arias et al. 2021).....	6
Abb. 3: Das Strahlungsgleichgewicht der Erde (modifiziert aus Trenberth et al. 2009).....	8
Abb. 4: Zunahme der atmosphärischen Konzentration an CO ₂ am Mauna Lao Observatorium, Hawaii (Zur Verfügung gestellt von NOAA Global Monitoring Laboratory).....	14
Abb. 5: Jährliche Abweichung der globalen Durchschnittstemperatur zu der Durchschnittstemperatur in Österreich. (Michael et al. 2024).....	17
Abb. 6: Hägg Diagramm des Carbonat Gleichgewichts im Meerwasser.....	20
Abb. 7: Auswirkungen der atmosphärischen CO ₂ Konzentration auf die Carbonat Chemie der Ozeane, gemessen im Nord Pazifik von 1988 bis 2015 (Doney et al. 2020).	21
Abb. 8: Das Modell der Scientific Literacy / naturwissenschaftlichen Grundbildung nach Gräber et al. 2002.....	33
Abb. 9: Das Modell der didaktischen Rekonstruktion mit dem fachdidaktischen Triplet nach Kattmann et al. 1997.....	38
Abb. 10: Mittlere Zustimmung der Expert*innen zum Erreichen der Lernziele des Unterrichtskonzepts.	52
Abb. 11: Vergleich der Zustimmung zu den Items zwischen Expert*innen mit mehr als 10 Jahren Unterrichtserfahrung zu denen mit weniger als 10 Jahren Erfahrung.....	53
Abb. 12: Mittelwerte der Items zur Wissensverknüpfung.....	55
Abb. 13: Rechts: Mittlere Zustimmung der Expert*innen zu den Items, welche die Förderung der naturwissenschaftlichen Grundbildung erheben. Rechts: Die mittlere Zustimmung ist Expert*innen weniger als 10 Jahren Unterrichtserfahrung deutlich geringer.	56
Abb. 14: Mittelwerte der Items welche die Berücksichtigung der Lernerperspektiven erfassen..	58
Abb. 15: Beispiel des Tafelsbilds für die Entstehung von basischen bzw. sauren Lösungen aus der Reaktion von Wasser mit Metall- und Nichtmetalloxiden.	78
Abb. 16: Beispiel des Tafelsbilds für die Verbrennung fossiler Brennstoffe.	78
Abb. 17: Beispiel des Tafelsbilds für die Auswirkungen von erhöhten CO ₂ Emissionen auf Gewässer.	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht von ausgewählten, geologisch rezenten Klimaereignissen ausgehend vom Paleozän (65 Mio. Jahre vor heute).	7
Tabelle 2: Vergleich des Treibhauspotentials für ausgewählte Treibhausgase (Daten aus IPCC 2013).....	11
Tabelle 3: Absolute Häufigkeiten der Befragung mithilfe der Likert Skalen.....	49
Tabelle 4: Absolute Häufigkeiten der mittleren Fragen der Likert Skala.	50
Tabelle 5: Absolute Häufigkeiten der letzten Fragen der Likert Skala	50
Tabelle 6: Cronbach's α berechnet über die Items der Lernziele.	52
Tabelle 7: Cronbach's α berechnet über die Items der Wissensverknüpfung.....	54
Tabelle 8: Cronbach's α und die Trennschärfe berechnet über alle Items, welche die Anwendung chemischen Wissens in anderen Disziplinen erheben..	56
Tabelle 9: Cronbach's α berechnet über die Items der Schüler*innen Relevanz..	57

Zusammenfassung

Der Klimawandel ist eine der wichtigsten, globalen Problemstellungen, welche die Gesellschaft in der heutigen Zeit zu lösen hat. Zusätzlich dazu ist es eine Thematik, welche nur mithilfe vieler Disziplinen gemeinsam behandelt werden kann. Vor dieser Problematik stehen unter anderem auch Schüler*innen, wenn sie naturwissenschaftlich begründete und/oder ethisch-moralische Entscheidungen treffen sollen. Zu diesem Zweck müssen durch die Schule Kompetenzen vermittelt werden.

Um Schüler*innen nicht nur das notwendige Fachwissen, sondern auch die benötigten Kompetenzen zur Bearbeitung solcher Problemstellungen bereitzustellen, benötigt es eine naturwissenschaftliche Grundbildung. Um eine solche bei Schüler*innen zu fördern wird in dieser Arbeit ein interdisziplinäres Unterrichtskonzept für die Sekundarstufe I präsentiert, welches die Ozeanversauerung interdisziplinär mit dem Fach Biologie behandelt.

Dazu wird in dieser Arbeit zu Beginn eine Theorielegung vorgenommen. In dieser werden die wichtigsten Begriffe, wie die chemischen, biologischen und physikalischen Prozesse des Klimawandels erläutert. Dazu werden auch die menschlichen Einflüsse, wie auch die globalen und lokalen Auswirkungen des Klimawandels diskutiert, wobei im Detail auf die Versauerung der Ozeane eingegangen wird. Anhand des Lehrplans für die Fächer Biologie und Chemie wird gezeigt, dass ein solches interdisziplinäres Unterrichtskonzept von beiden Fächern gedeckt ist. In weiterer Folge werden auch die in der Literatur untersuchten Schülervorstellungen vorgestellt.

Einen großen Teil der Arbeit macht Auswertung der Fragebögen für das Expertenrating aus. Dabei wird gezeigt, dass die Lernziele des erarbeiteten Unterrichtskonzepts von den Expert*innen als erreichbar eingestuft werden. Auch eine Verknüpfung von chemischem Fachwissen mit bereits vorhandenem Wissen auf der einen Seite und neuen Problemstellungen auf der anderen Seite konnte gezeigt werden. Dadurch bietet das Unterrichtskonzept einen Rahmen für die Vermittlung von Kompetenzen im Bereich der naturwissenschaftlichen Grundbildung in der Sekundarstufe I. Zusätzlich zeigte die Befragung auch, dass die Relevanz der Thematik für die Schüler*innen gegeben war und die Schülervorstellungen ausreichend berücksichtigt wurden. Dadurch wurden die Lernerperspektiven insgesamt auch gut abgebildet, was eine nachhaltige Förderung der naturwissenschaftlichen Grundbildung ermöglichen soll.

Abstract

Climate change is one of the most important global problems, which society is facing currently. Further, it is a topic which can only be addressed with the help of all sciences. This is a problem, which students will be facing increasingly when they are required to participate in society. To this end they are expected to acquire skills needed to challenge these during their school education.

To facilitate students not only with the necessary knowledge, but also with the required skills to address such problems in the future scientific literacy is needed. To promote this in students, this work presents an interdisciplinary teaching concept for students of the Sekundarstufe I that addresses ocean acidification together with biology.

To this end this work first introduces a theoretical framework. This consists of explanations of the fundamental chemical, biological and physical processes, as well as key terms. The influences of humans on climate change together with global and local consequences of climate change are also discussed, with ocean acidification addressed in detail. In addition, the Austrian teaching curriculum for biology and chemistry is used to demonstrate, that such a teaching concept is valuable for furthering scientific literacy in school.

A big part of this work will be the analysis of the surveys for the expert rating. This is used to show that the developed teaching concept is not only feasible, but can contribute to achieving scientific literacy in chemistry classes. Additionally, the linking of new chemical knowledge with existing knowledge and new knowledge outside of chemistry was demonstrated. Taken together this suggests that this teaching concept is able to promote the development of scientific literacy in students.

Further survey data also suggested that the topic is relevant to students and students' preconceptions were taken into account sufficiently, enabling a lasting promotion of scientific literacy.