



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Erhebung von Schülervorstellungen zum Klimawandel
und Konsequenzen für den Chemieunterricht“

verfasst von / submitted by

Lisa Sami Golser BEd

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Education (MEd)

Wien, 2021 / Vienna 2021

Studienkennzahl lt. Studienblatt / UA 199 504 517 02
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

Studienrichtung lt. Studienblatt / Masterstudium Lehramt Sek (AB)
degree programme as it appears on UF Chemie UF Italienisch
the student record sheet:

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Michael Alfred Anton

Inhaltsverzeichnis

EINLEITUNG	1
THEORETISCHER TEIL	3
1. DER GLOBALE KLIMAWANDEL.....	3
1.1 BASISWISSEN ZUM KLIMAWANDEL	3
1.1.1 WETTER UND KLIMA	3
1.1.2 KLIMASYSTEM UND GEOSPÄREN.....	4
1.1.3 DIE ENERGIEBILANZ DER ERDE.....	8
1.1.4 WECHSELWIRKUNGEN UND GLOBALER KOHLENSTOFFKREISLAUF.....	9
1.1.5 RÜCKKOPPLUNGEN	11
1.1.6 DER NATÜRLICHE TREIBHAUSEFFEKT.....	12
1.1.7 TREIBHAUSGASE	13
1.1.8 NATÜRLICHER VS. ANTHROPOGENER TREIBHAUSEFFEKT	16
1.1.9 ANTHROPOGENE EINFLÜSSE AUF DAS KLIMA.....	17
1.1.10 DIE ENTWICKLUNG DES KLIMAS	19
1.1.11 KLIMAMODELLE	20
1.1.12 DIE FOLGEN DES KLIMAWANDELS	21
1.2 KLIMAWANDEL IM CHEMIEUNTERRICHT.....	27
1.2.1 LEHRPLAN	27
1.2.2 SCHULBÜCHER.....	29
2. SCHÜLERVORSTELLUNGEN	31
2.1 CHARAKTERISIERUNG VON SCHÜLERVORSTELLUNGEN	31
2.2 ERHEBUNG VON SCHÜLERVORSTELLUNGEN	32
2.3 SCHÜLERVORSTELLUNGEN UND LERNEN.....	34
2.3.1 KONSTRUKTIVISMUS.....	34
2.3.2 CONCEPTUAL CHANGE UND CONCEPTUAL GROWTH.....	34
2.4 UNTERRICHT AUF BASIS VON SCHÜLERVORSTELLUNGEN	35
2.4.1 DIDAKTISCHE REKONSTRUKTION	36
2.5 SCHÜLERVORSTELLUNGEN ZUM KLIMAWANDEL	38
2.5.1 TREIBHAUSEFFEKT	39
2.5.2 TREIBHAUSGASE	42
2.5.3 FOLGEN DES KLIMAWANDELS	42
2.5.4 EINFLUSS DER MENSCHEN AUF DEN KLIMAWANDEL.....	43
EMPIRISCHER TEIL	46
3. UNTERSUCHUNGSDESIGN	46
3.1 FRAGEBOGEN.....	46

4.	DURCHFÜHRUNG	47
5.	AUSWERTUNGSVERFAHREN UND FORSCHUNGSFRAGEN	48
6.	UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	49
6.1	ZUSAMMENFASSUNG DES ERSTEN TEILS DES FRAGEBOGENS	49
6.1.1	MULTIPLE CHOICE-FRAGEN	50
6.1.2	OFFENE FRAGEN	58
6.2	ZUSAMMENFASSUNG DES ZWEITEN TEILS DES FRAGEBOGENS.....	70
6.2.1	PERSÖNLICHER UMGANG MIT KLIMAWANDEL UND KLIMAPROBLEMATIK	70
6.2.2	WOHER BEZIEHEN DIE SCHÜLER*INNEN IHRE INFORMATIONEN ZUM THEMA KLIMAWANDEL?	74
6.2.3	IN WELCHEN SCHULFÄCHERN WURDE DAS THEMA KLIMAWANDEL & KLIMAPROBLEMATIK BESPROCHEN?	75
6.2.4	WIE WOLLEN DIE LERNENDEN DAS THEMA KLIMAWANDEL IM CHEMIEUNTERRICHT BEHANDELT WISSEN?	76
6.2.5	GIBT ES EINEN ASPEKT DER KLIMAPROBLEMATIK, DEN MAN UNBEDINGT IM CHEMIEUNTERRICHT BESPRECHEN SOLLTE?	77
7.	ERGEBNISDISKUSSION	81
8.	FAZIT	88
	LITERATURVERZEICHNIS	90
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	95
	TABELLENVERZEICHNIS.....	96
	ANHANG	97
9.	ZUSAMMENFASSUNG.....	101
10.	ABSTRACT	103

Mein Dank geht an:

Herrn Prof. Dr. Michael Anton – für die Betreuung der Arbeit und
seine außerordentliche Hilfsbereitschaft und Kompetenz

meine Familie und Freunde – für die ständige Unterstützung in allen Lebenslagen,
die Motivation, das Verständnis und die Freude über meine studentischen Erfolge

meine Studienkolleginnen Maria Hösch und Laura Tarmastin – für das Ermöglichen
der Befragung, welche die Grundlage dieser empirischen Studie ist

Olivia Brugger – für die Unterstützung bei der Auswertung der Daten

Einleitung

Der Klimawandel wirkt sich zunehmend auf unser tägliches Leben aus. So werden beispielsweise Überschwemmungen, Wirbelstürme und Hitzewellen als Folgen der globalen Erwärmung angesehen. Die Klimaproblematik wird vor allem in den Medien und in der Politik immer präsenter und es werden neue Wege gesucht, um die globale Erwärmung und deren Folgen einzugrenzen. Es ist also nicht verwunderlich, dass eine Vielzahl von alltäglichen Vorstellungen zu den ablaufenden Prozessen, Folgen und möglichen Gegenmaßnahmen existiert, welche jedoch oft von den vorhandenen wissenschaftlichen Erkenntnissen auf diesem Gebiet abweichen. Der naturwissenschaftliche Unterricht hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Lernenden über diese Themen aufzuklären und zu unterrichten. Skamp et al. (2013, S. 192) erläutern die Relevanz des naturwissenschaftlichen Unterrichts hin zu „climate empowerment“: „Science education has a key role in empowering students, enabling them to make reasoned decisions in science-related personal and civic matters [...]“.

Die bestehenden Vorstellungen und Präkonzepte können das Lehren und Lernen dieser Inhalte im naturwissenschaftlichen Unterricht einerseits bereichern, aber auch behindern, da sie meist nicht mit dem Lehrstoff und den zugehörigen schulischen Erklärungen übereinstimmen. Um ein erfolgreiches Lernen zu ermöglichen, ist es deshalb essenziell, die Erfahrungen und Vorstellungen der Lernenden zu kennen und im Unterricht zu berücksichtigen, sodass von fehlerhaften auf fachlich korrekte Vorstellungen überleitet werden kann.

Da sich das Wissen und die Präkonzepte der Jugendlichen je nach Altersgruppe und Bildungsstand unterscheiden, entwickelte sich bei Analyse des Lehrplans zu diesem Thema die Fragestellung, inwiefern die Schülervorstellungen in der Sekundarstufe I & II variieren und ob es denn vorteilhaft wäre, das Thema in beiden Schulstufen eingehend zu bearbeiten, um ein genaueres Verständnis der Klimaproblematik zu gewährleisten und die Lernenden so hin zu „climate empowerment“ zu führen.

Im Zuge dieser Arbeit wurden die Schülervorstellungen zum Thema Klimawandel und Klimaproblematik im Chemieunterricht von Schüler*innen der Sekundarstufe I und II aus zwei Wiener Schulen erhoben. Dazu wurde eine Fragebogenstudie durchgeführt,

an der insgesamt 103 Lernende teilnahmen. Mithilfe der Studie sollten folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- Welche Vorstellungen haben Schüler*innen der Sekundarstufe I & II vom globalen Klimawandel?
- Wie unterscheiden sich diese Vorstellungen in den verschiedenen Schulstufen?
- Welches Interesse besteht auf Seiten der Lernenden, das Thema des globalen Klimawandels im Chemieunterricht (v.a. in der Sekundarstufe II) näher zu behandeln?
- Woher bekommen die Lernenden ihre Informationen (Schule, Internet, soziale Medien etc.)? Welche Relevanz hat hierbei der Chemieunterricht?
- Wie möchten die Lernenden die Thematik im Chemieunterricht behandelt wissen?

Um einen Einblick in die Thematik der Schülervorstellungen zum Klimawandel zu erhalten, wird in dieser Arbeit zuerst Basiswissen zum Klimawandel besprochen, welches unter anderem die Erläuterung der chemischen und biologischen Prozesse, die erwarteten Folgen und möglichen Gegenmaßnahmen zur Eingrenzung der voranschreitenden klimatischen Veränderungen beinhaltet. Außerdem wird der Stand der didaktischen Forschung zu Schülervorstellungen und deren Rolle im naturwissenschaftlichen Unterricht veranschaulicht. Im Anschluss werden einige ausgewählte Studien zu Schülervorstellungen zum Klimawandel vorgestellt, um einen Einblick in den aktuellen Forschungsstand auf diesem Gebiet zu geben.

Den zweiten Teil der Arbeit bilden die Präsentation und die Analyse der durchgeführten empirischen Untersuchung. Mithilfe eines Fragebogens wurde dabei ermittelt, was die Lernenden über den Klimawandel und die Klimaproblematik wissen und welche Vorstellungen sie dazu haben. Dabei wurden sowohl Lehrinhalte des Chemieunterrichts zu diesem Thema sowie allgemein bekannte Fakten und Zusammenhänge erfragt. Zusätzlich wurden Interesse der Schülerinnen und Schüler an der Thematik, Relevanz des Themas in der Schule sowie bevorzugte Methoden und Themen für den Chemieunterricht erfasst. Diese umfangreiche Datenerhebung wurde durchgeführt, um sowohl vorhandene Vorstellungen als auch die Rahmenbedingungen für die Bearbeitung des Themas im Chemieunterricht zu erfassen.

THEORETISCHER TEIL

1. Der globale Klimawandel

1.1 Basiswissen zum Klimawandel

An dieser Stelle soll eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Fakten zum Thema Klimawandel und globale Erwärmung gegeben werden. Diese soll Antworten auf häufig gestellte Fragen zu diesem Thema geben und ist angelehnt an die Assessment Reports der IPCC (2001, 2007, 2013 & 2014) bzw. der APCC (2014) und den veröffentlichten Materialien des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) in Zusammenarbeit mit dem Klimabündnis Österreich (KBÖ).

1.1.1 Wetter und Klima

Der Mensch und sein tägliches Leben sind sehr vom Klima der Erde geprägt. Änderungen desselben haben einen großen Einfluss auf die Entwicklung der Lebewesen auf der Erde. Schwankungen des Klimas gab es schon immer. Diese wurden durch natürliche Faktoren wie Sonnenaktivitäten und Vulkanausbrüche verursacht. In den letzten Jahren kam es allerdings zu einer deutlichen Zunahme der globalen Mitteltemperatur: „Jedes der letzten drei Jahrzehnte war an der Erdoberfläche sukzessive wärmer als alle vorangegangenen Jahrzehnte seit 1850“ (IPCC, 2014, S. 2). Seit Beginn der Industrialisierung hat sich die globale Mitteltemperatur um circa 1 °C erhöht. Eine weitere Temperaturerhöhung hätte schwerwiegende irreversible Folgen für Umwelt und Lebewesen. (vgl. Klimabündnis Österreich & BMNT, 2019, S. 6)

Nun stellt sich aber die Frage, wie dies überhaupt möglich ist, wenn sich doch das Wetter von einem Tag auf den anderen um mehrere Grad Celsius ändern kann ohne dass ähnliche, gravierende Auswirkungen bekannt sind?

Die Antwort liegt im Unterschied von Wetter und Klima. Das Wetter beschreibt kurzzeitige Vorgänge in der Atmosphäre zu einer bestimmten Zeit und an einem bestimmten Ort. Es ist durch Parameter wie Temperatur, Luftdruck, Niederschlag, Feuchtigkeit, Wind und Sonneneinstrahlung gekennzeichnet und kann direkt erlebt werden. Das Klima ist hingegen eine statistische Zustandsbeschreibung des Wetters bzw. der gesamten atmosphärischen Zustände und Vorgänge über einen längeren Zeitraum

hinweg und erfasst sowohl den Durchschnitt (Mittelwert), als auch auftretende Schwankungen und Extremwerte. Verändern sich also die Wetterbedingungen langfristig an einem bestimmten Ort, kann man von einer Klimaänderung sprechen. (vgl. IPCC 2013, S. 124-126; Klimabündnis Österreich & BMNT 2019; S. 8)

Neben der zeitlichen Betrachtung ist die Vorhersagbarkeit ein weiterer großer Unterschied zwischen Wetter und Klima. Während die Unberechenbarkeit des Wetters dessen Vorhersage über mehrere Tage hinaus fast unmöglich macht, können Veränderungen des Klimas über längere Zeiträume vorausberechnet werden (vgl. Franz, 2017, S. 4 & IPCC 2007, S. 6f.)

1.1.2 Klimasystem und Geosphären

Um den Klimawandel verstehen zu können, ist es notwendig den Aufbau des natürlichen Klimasystems zu kennen. Dieses besteht aus fünf Komponenten, zwischen denen ein ständiger Austausch von Energie und Masse (Strahlung, Niederschlag, Verdunstung etc.) stattfindet (vgl. Klimabündnis Österreich & BMNT 2019, S. 8). Im 5. Assessment Report der IPCC (2013) ist das Klimasystem wie folgt beschrieben:

“The climate system is the highly complex system consisting of five major components: the atmosphere, the hydrosphere, the cryosphere, the lithosphere and the biosphere, and the interactions between them. The climate system evolves in time under the influence of its own internal dynamics and because of external forcings such as volcanic eruptions, solar variations and anthropogenic forcings such as the changing composition of the atmosphere and land use change”. (IPCC 2013, S. 1451)

Die Komplexität des Klimasystems und der Prozesse und Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Komponenten soll anhand der nachfolgenden Abbildung veranschaulicht werden.

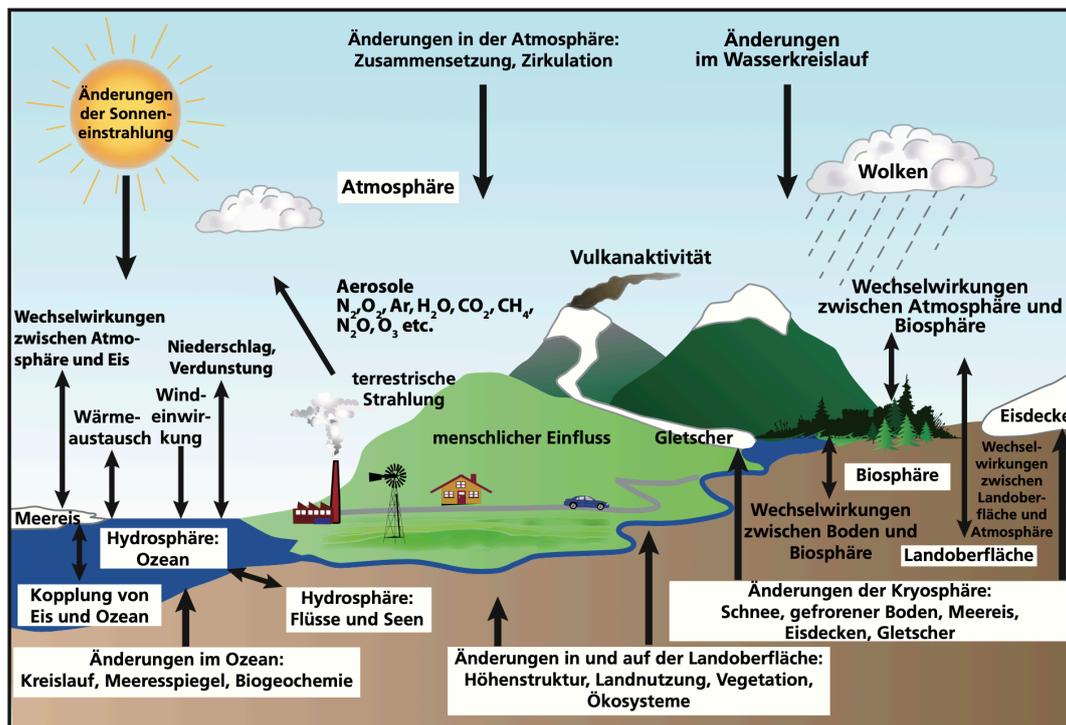


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Komponenten des Klimasystems, ihrer Prozesse und Wechselwirkungen (IPCC, 2007, S.6)

Zuerst wird im Folgenden kurz auf die einzelnen Komponenten bzw. Geosphären eingegangen, wobei vor allem die Atmosphäre und deren Zusammensetzung erläutert werden muss, um die dem Klimawandel zugrundeliegenden chemischen Prozesse zu verstehen. Die von der IPCC (2013) angegebenen internen und externen Einflüsse und deren Wechselwirkungen sollen im Folgekapitel erläutert werden. Es ist jedoch festzustellen, dass der Klimawandel bereits alle Komponenten unseres Klimasystems erreicht hat (vgl. IPCC, 2014, S. VII).

Die Atmosphäre

Als Atmosphäre kann man die Gashölle oberhalb der Erdoberfläche bezeichnen, welche (im Vergleich zu den anderen Komponenten des Klimasystems) eine relativ geringe Masse von $5,15 \cdot 10^6 \text{ Gt}^1$ einnimmt. Nach Franz (2017, S. 8) unterliegt diese Komponente des Klimasystems wohl den schnellsten Änderungen und weist am wenigsten Stabilität auf. Die trockene (wasserdampffreie) Atmosphäre setzt sich aus

¹ Alle Masseinheiten in Gigatonnen (Gt) in diesem Kapitel wurden Haimberger et al. (2014, S. 140f.) entnommen.

unterschiedlichen Gasen zusammen (Aufschlüsselung in Tabelle 1), welche kaum mit der Sonneneinstrahlung und gar nicht mit der Infrarotstrahlung der Erde reagieren.

Tabelle 1: Zusammensetzung der wasserdampffreien Erdatmosphäre (Roedel & Wagner, 2017, S. 15)

Bestandteil	Volumen-%
Stickstoff N ₂	78,09
Sauerstoff O ₂	20,95
Argon Ar	0,93
Neon Ne	$18,21 \cdot 10^{-4}$ oder 18,21 ppm ²
Helium He	$5,24 \cdot 10^{-4}$ oder 5,24 ppm
Krypton Kr	$1,14 \cdot 10^{-4}$ oder 1,14 ppm
Xenon Xe	$0,087 \cdot 10^{-4}$ oder 0,087 ppm

In der Atmosphäre finden sich allerdings noch andere Spurengase, welche zum Teil die Infrarotstrahlung sowohl absorbieren als auch emittieren (sog. Treibhausgase). Zu diesen Gasen zählt unter anderem Kohlenstoffdioxid CO₂, welches eine relativ einheitliche Volumenkonzentration von circa 400 ppm (Jahr 2016) aufweist, sowie der in der Atmosphäre sehr inhomogen vorliegende Wasserdampf, der im Mittel etwa 1 % der Atmosphäre ausmacht. Neben gasförmigen Stoffen beinhaltet die Atmosphäre auch feste Partikel, Aerosole³ und Wolken, die mit der einfallenden und ausgehenden Strahlung reagieren und interagieren. (vgl. Roedel & Wagner, 2017, S. 15-19; IPCC, 2001, S. 85)

Andere Komponenten

Die Hydrosphäre beschreibt alle Wasservorkommen auf der Erde. Dazu zählt das Wasser der Ozeane und Meere, der Seen und Flüsse sowie bestehendes Grundwasser. Die Zirkulation der Hydrosphäre (vorwiegend Ozeane) wird bewirkt durch Winde und Dichteunterschiede, verursacht durch divergente Salzgehalte und Temperaturgradienten (sog. Thermohaline Zirkulation) (vgl. IPCC, 2001, S. 88). Aufgrund der hohen spezifischen Wärmekapazität ($4180 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$) von Wasser und der hohen Masse (ca. $1,4 \cdot 10^9 \text{ Gt}$) der gesamten Hydrosphäre kann darin sehr viel Energie gespeichert werden und Temperaturschwankungen können so über einen längeren Zeitraum

² Für die Einheit von 10^{-4} Volumenprozent ist die Bezeichnung ppm (parts per million) üblich.

³ Aerosole sind heterogene Gemische aus festen oder flüssigen Schwebeteilchen in einem Gas (Lineardimensionen von etwa 10 nm bis 10 µm). (vgl. Roedel & Wagner, 2017, S. 17)

ausgeglichen werden (vgl. Roedel & Wagner, 2017, S. 62). Die Hydrosphäre fungiert damit als Regulator des Klimas und spielt eine große Rolle für langfristige Klimaschwankungen (vgl. IPCC, 2001, S. 88).

Ein weiterer Teil des Klimasystems ist die Kryosphäre ($3 \cdot 10^7$ Gt), welche aus gefrorenen Wassermengen wie Schnee, Eisschilden und Meereis, Gletscher und auch Permafrost besteht. Diese trägt aufgrund ihres enormen Reflexionsvermögens der solaren Strahlung (sog. Albedo) maßgeblich zur Klimabilanz der Erde bei. Aufgrund der niedrigen thermischen Leitfähigkeit und der hohen thermischen Trägheit hat die Kryosphäre außerdem einen großen Einfluss auf die ozeanische Tiefenwasserzirkulation und gilt durch die enormen Eismassen und deren sich ständig änderndes Volumen als mögliche Quelle für Veränderungen des Meeresspiegels. (vgl. IPCC, 2001, S. 88; Haimberger, Seibert, Hitzemberger, Steiner, & Weihs, 2014, S. 140f.)

Die Lithosphäre meint die Erdkruste und die oberste Schicht des Erdmantels und ist der größte Speicher für Kohlenstoff (vorwiegend in Form von Kalk, Kohle, Erdgas und Erdöl). Trotz der enormen Masse ($6 \cdot 10^{12}$ Gt) ist die effektive Wärmekapazität sehr gering, da Wärme nur langsam und in geringe Tiefen transportiert werden kann. Die Beschaffenheit und chemische Zusammensetzung der Erdoberfläche und ihre Topografie wirken sich ebenfalls auf das Klima aus. (vgl. IPCC, 2001, S. 89; Haimberger et al., 2014, S. 141)

Schlussendlich ist auch noch die Biosphäre als Teil des Klimasystems zu nennen. Diese umfasst alle Lebewesen auf der Erde und lässt sich deshalb in alle anderen Sphären einbinden. Sie hat trotz ihrer relativ kleinen Größe (ca. $1,8 \cdot 10^3$ Gt) durch die Abgabe und Aufnahme von Treibhausgasen einen großen Einfluss auf die Zusammensetzung der Atmosphäre. Der Mensch ist als Teil der Biosphäre anzusehen und verändert diese unter anderem durch Landnutzung und Emissionen. Die Auswirkungen des vorherrschenden Klimas auf die Biosphäre werden unter anderem in Fossilien, Baumringen und Pollen festgehalten und machen so eine Betrachtung der Klimavergangenheit möglich. (vgl. IPCC, 2001, S. 89; Haimberger et al., 2014, S. 141)

1.1.3 Die Energiebilanz der Erde

Das Klima ist grundsätzlich das Ergebnis einer einfachen Energiebilanz. Die Sonneneinstrahlung ist dabei als Energielieferant anzusehen und gibt Strahlung in Richtung der Erde ab. Die Erde absorbiert und emittiert Energie in Form von Strahlung, wodurch ein relatives Energiegleichgewicht entsteht. Dieses weist zwar natürliche Schwankungen auf, wird aber grundsätzlich nur durch äußere Einflüsse langfristig verändert.

Es gibt grundsätzlich drei verschiedene Wege, die Strahlungsbilanz der Erde zu verändern:

1. durch Änderung der ankommenden Sonneneinstrahlung (durch Veränderung der Umlaufbahn der Erde oder durch eine von der Sonne verursachte Änderung der Strahlungsintensität)
2. durch Änderung des Anteils an reflektierter Sonneneinstrahlung (sog. Albedo; beispielsweise durch Änderungen der Wolkendecke oder der Vegetation)
3. durch Änderung der abgegebenen langwelligen Strahlung von der Erde zurück in den Weltraum (durch Veränderung der Treibhausgas- und Aerosolkonzentrationen in der Atmosphäre) (vgl. IPCC, 2007, S. 4f.; Klimabündnis Österreich & BMNT, 2019, S.8f.)

Eine Änderung des Energiegleichgewichts wirkt sich auch auf das globale Klima aus: „Wenn der Energiehaushalt der Erde verändert wird und die Erdatmosphäre Wärme dazugewinnt oder verliert, also ein „Energieungleichgewicht“ herrscht, ändert sich auch die globale Mitteltemperatur.“ (Klimabündnis Österreich & BMNT, 2019b, S. 8)

Das Klimasystem wird also von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst. Einerseits sind dies innere Faktoren, die durch interne Dynamiken zwischen den Geosphären entstehen, andererseits gibt es eine Vielzahl von äußeren Faktoren (auch ‚Antriebe‘ oder engl. ‚forcings‘ genannt), die das Klima langfristig verändern. Auf diese soll in einem späteren Kapitel genauer eingegangen werden.

1.1.4 Wechselwirkungen und globaler Kohlenstoffkreislauf

Jarrett & Takacs (2020) stellen fest, dass ein umfassendes Wissen von unterschiedlichen Prozessen und Wechselwirkungen notwendig ist, um den Mechanismus des Klimawandels zu verstehen: „Understanding the mechanism of climate change involves applying and integrating conceptual areas including the carbon cycle, energy emitted by the Sun and Earth, and interactions between the electromagnetic spectrum and the Earth’s atmosphere.” (Jarrett & Takacs, 2020, S. 402)

Für das Klima der Erde sind biogeochemische Kreisläufe wie der Kohlenstoffkreislauf von großer Bedeutung. Dieser umfasst alle Stoffwechselfvorgänge, an denen Kohlenstoff beteiligt ist und die innerhalb und zwischen den Erdsphären ablaufen, wie beispielsweise die Photosynthese, die Atmung von Organismen und die Speicherung von Kohlenstoff in Ozeanen. Diese chemischen Umwandlungen und Transporte von kohlenstoffhaltigen Verbindungen haben den natürlichen Treibhauseffekt, vor allem durch Kohlenstoffdioxid (CO₂), über einen langen Zeitraum geprägt. Im Folgenden sollen einige Aspekte des überaus komplexen Kohlenstoffkreislaufes näher erläutert werden, um dessen Relevanz für den Klimawandel zu veranschaulichen.

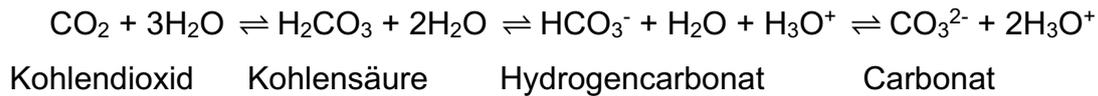
Die Atmosphäre enthält im Gegensatz zu der Hydro- und Lithosphäre ein relativ kleines Kohlenstoffreservoir. Im Jahr 2018 ging man von einer enthaltenen Kohlenstoffmenge von rund 840 Gt⁴ – entsprechend 3074 Gt CO₂ – aus. Dies macht nur etwa 0,001 % des globalen Gesamt-Kohlenstoffs aus. Der Kohlenstoff liegt dort vorwiegend in Form von Spurengasen vor. Es findet ein natürlicher Austauschprozess zwischen der Atmosphäre und den Ozeanen und Landsystemen statt, wodurch sich der Kohlenstoff- bzw. CO₂-Gehalt in der Atmosphäre ständig verändert.

Die Hydrosphäre enthält insgesamt etwa 38.000 Gt Kohlenstoff, der vor allem als gelöstes CO₂ vorliegt. Ein wichtiger Austauschprozess innerhalb des Kohlenstoffkreislaufes ist jener von Kohlenstoffdioxid zwischen Luft und Meerwasser. Jährlich werden mehrere hundert Gigatonnen Kohlenstoffdioxid in Meerwasser gelöst, aber fast ebenso viel auch wieder in die Atmosphäre abgegeben. Dies ist unter anderem auf

⁴ Alle Masseinheiten in Gigatonnen (Gt) in diesem Kapitel wurden Wöhrle (2021) entnommen

den Phytoplankton im Wasser zurückzuführen, der durch die Photosynthese CO_2 bindet und durch Atmung einen geringeren Teil dessen wieder frei gibt. Die Löslichkeit von CO_2 nimmt allerdings bei steigender Temperatur ab (bei 0°C beträgt diese $3,3\text{ g/L}$; bei 20°C nur noch $1,7\text{ g/L}$). Daraus folgt, dass wärmer werdende Ozeane weniger CO_2 aufnehmen können.

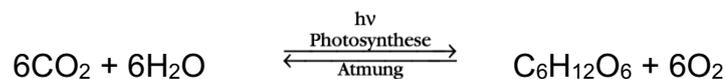
Eine große Rolle spielt hier auch das chemische Gleichgewicht (Wöhrle, 2021, S. 114):



Durch die Erwärmung der Gewässer wird das Gleichgewicht zunehmend nach links verschoben, wodurch mehr CO_2 an die Atmosphäre abgegeben wird. Carbonat-Ionen sind sehr wichtig für Korallen und andere Meeresorganismen, um Kalkstrukturen und -schalen aus Calciumcarbonat (CaCO_3) aufzubauen. Viele dieser Lebewesen sterben ab und sinken zum Meeresboden, wo eine Mineralisierung stattfindet.

Wird allerdings mehr Kohlenstoffdioxid im Wasser gelöst und die CO_2 -Konzentration im Meerwasser steigt, verschiebt sich das Gleichgewicht nach rechts und durch Bildung von H_3O^+ sinkt der pH-Wert des Wassers, was wiederum schwerwiegende Auswirkungen für viele Meereslebewesen hat.

Die Vegetation der Pflanzen in der Biosphäre ermöglicht den schnellsten Austauschprozess von Kohlenstoffdioxid zwischen Atmosphäre und Land. Die Pflanzen binden tagsüber mittels oxygener Photosynthese Kohlenstoff für die Bildung energiereicher Biomasse (Wöhrle, 2021, S. 115):



Dazu ist das sichtbare Licht ($h\nu$) der solaren Strahlung notwendig. Nachts geben sie hingegen einen Teil des gebundenen CO_2 über die Atmung wieder ab.

Der Boden gibt ebenfalls Kohlenstoffdioxid sowie Methan und Stickstoffoxide in die Atmosphäre ab. Nahe der Oberfläche findet dort eine aerobe mikrobielle Zersetzung von organischem Material (abgestorbene Pflanzen und andere Organismen) statt,

wobei CO₂ frei wird. In Sümpfen, Mooren und Reisfeldern wird durch anaerobe mikrobielle Zersetzung Methan gebildet.

In der Lithosphäre befinden sich nicht-erneuerbare fossile Rohstoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas. Diese entstanden über Millionen von Jahren aus abgestorbenen Lebewesen, wodurch Kohlenstoff über eine sehr lange Zeit gespeichert wurde.

Der meiste Kohlenstoff (ca. 99,8 % des globalen Gesamtkohlenstoffs) ist auf der Erde in kohlenstoffhaltigen Mineralien wie Kalkstein (CaCO₃) gespeichert. Hier bildet die Verwitterung des Carbonatgesteins und dessen Neubildung durch Meeresorganismen (s.o.) einen Kreislauf. Einen weiteren Kreislauf gibt es bei der Verwitterung von basischem Silikatgestein durch schwach saures, kohlenstoffhaltiges Regenwasser, wobei Quarz (SiO₂) und Kalk entsteht. Die Umkehrung erfolgt im Erdinneren durch Hitze einwirkung (Vulkanausbrüche, heiße Quellen), wobei wieder Quarz, Silikate und CO₂ entstehen. (vgl. Wöhrle, 2021, S. 112-116)

1.1.5 Rückkopplungen

Rückkopplungsmechanismen sind komplexe Vorgänge, die im Klimasystem von großer Bedeutung für Änderungen des Klimas sind, da sie deren Auswirkungen entweder verstärken (positive Rückkopplung) oder abschwächen (negative Rückkopplung) können. Negative Rückkopplungen stabilisieren das Klima durch Abschwächung von Klimaschwankungen und -änderungen. Positive Rückkopplungen bewirken hingegen eine Verstärkung der auftretenden Veränderung oder Störung des Klimasystems.

Als Beispiel für eine selbst verstärkende Rückkopplung wäre die Eis-Albedo-Rückkopplung zu nennen. Flächen, die mit Eis und Schnee bedeckt sind, reflektieren einen Großteil der einfallenden Strahlung wieder zurück in den Weltraum (hohe Albedo⁵). Eine Erwärmung des Klimas führt zum Schmelzen von Eis und Schnee und legt dadurch dunklere Flächen frei, die sich zuvor unter Eis und Schnee befanden. Diese dunklen Flächen absorbieren mehr Sonnenenergie (niedrige Albedo), was zu einer stärkeren Erwärmung führt. Dies bewirkt wiederum das Schmelzen weiterer Eis- und

⁵ Das Reflexionsvermögen bzw. der Anteil an reflektierter Strahlung wird Albedo genannt.

Schneeflächen usw. (vgl. IPCC, 2007, S. 5; IPCC, 2013, S. 57f.; Klimabündnis Österreich & BMNT, 2019, S.11)

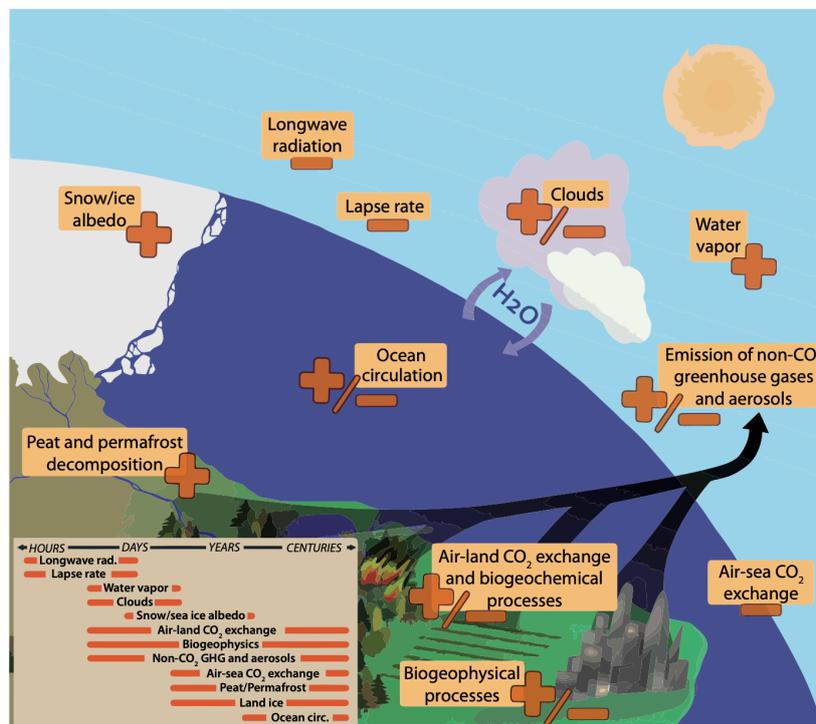


Abbildung 2: Klimarückkopplungen und Zeitskalen, in denen diese ablaufen. Positive Rückkopplungen (+) und negative Rückkopplungen (-) sowie Rückkopplungen, die positiv und negativ wirken können (IPCC, 2013, S. 128)

1.1.6 Der natürliche Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt ist auf die in der Atmosphäre vorhandenen Treibhausgase (unter anderem Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und Wasserdampf) zurückzuführen. Die Atmosphäre ist für die kurzwellige Sonnenstrahlung weitgehend transparent, wodurch diese auf die Erdoberfläche gelangt und dort zum Teil absorbiert wird. Nach Wöhrle (2021, S.118) werden von 100 % Sonnenstrahlung (341 W/m²) im Mittel 47 % von der Erdoberfläche absorbiert, 30 % werden von der Erdoberfläche reflektiert und 23 % in der Atmosphäre absorbiert (Gase, Wolken, Staub). Die Erde erwärmt sich durch die Absorption der solaren Strahlung und gibt wiederum langwellige Strahlung (Infrarotstrahlung; 4 bis 60 µm) ab, die in die Atmosphäre abgestrahlt wird. Diese Energie wird nicht unmittelbar zurück in den Weltraum gestrahlt, denn in der Atmosphäre befindliche Treibhausgasmoleküle und Wolken absorbieren die Strahlung im terrestrischen Wellenlängenbereich. Die Treibhausgase emittieren die

Strahlung in Abhängigkeit ihrer eigenen Temperatur dann wieder in alle Richtungen, auch in Richtung der Erdoberfläche, wodurch ein Teil der langwelligeren Wärmestrahlung in der Atmosphäre und nahe der Erdoberfläche bleibt. Die von der Erde abgegebene Energie kann somit nicht vollständig abgeführt werden und es kommt zur Erhöhung der Oberflächentemperatur der Erde, bis ein neues Gleichgewicht – auf einem höheren Energieniveau – erreicht ist. (IPCC, 2007, S. 8f.; Haimberger et al., 2014, S. 147f.; Wöhrle, 2021, S. 117-119)

1.1.7 Treibhausgase

Die Treibhausgase beeinflussen durch die Absorption und Reemission der auf sie treffenden Strahlung die Energiebilanz der Erde und somit auch das globale Klima. Die IPCC (2007, S. 10) stellt fest, dass Änderungen der Menge oder der Eigenschaften der Gase (und Partikel in der Atmosphäre) zu einer Erwärmung oder Abkühlung des Klimasystems führen können.

Als Treibhausgase werden jene Gase bezeichnet, die in der Atmosphäre vorkommen und die von der Erde abgegebene langwellige Strahlung Richtung Weltraum durch Absorption und Reemission Richtung Boden reduzieren. Treibhausgase, welche zum Klimawandel beitragen, absorbieren in einem ganz bestimmten Strahlungs- bzw. Wellenlängenbereich und weisen in diesem Absorptionsbahnen (Abb. 3) auf (vgl. Haimberger et al., 2014, S. 147).

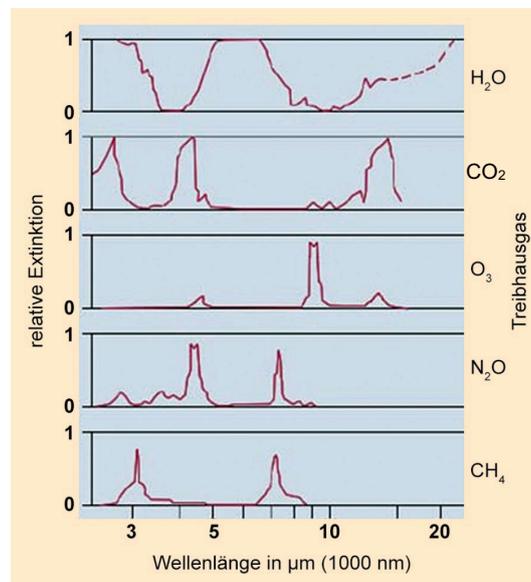


Abbildung 3: Wellenlängenbereiche der Absorptionen von Treibhausgasen bzw. klimawirksamen Gasen (O₃) im IR-Bereich (Wöhrle, 2021, S. 119)

Aufgrund der Asymmetrie der Ladungsverteilung (Dipolmoment) können diese Gas-moleküle im elektromagnetischen Feld der Wärmestrahlung in Schwingung oder Ro-tation versetzt werden und dadurch Energie aufnehmen. Genau genommen sind Was-serdampf (H_2O) und troposphärisches Ozon (O_3) gewinkelte Moleküle und haben ein statisches Dipolmoment. Andere mehratomig aufgebaute Treibhausgase wie CO_2 , N_2O und CH_4 haben aufgrund ihres symmetrischen Aufbaus kein statisches Dipolmo-ment, können aber durch Schwingungsanregung ein Übergangsdipolmoment errei-chen. Die Treibhausgasmoleküle werden also angeregt, absorbieren die auftreffende Wärmestrahlung und emittieren die Energie in Form von Strahlung wiederum in alle Richtungen. (vgl. Wöhrle, 2021, S. 119)

Im Kyoto-Protokoll wurden folgende Verbindungen als (direkte) Treibhausgase defi-niert: Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4), Distickstoffmonoxid (Lachgas, N_2O), teil-halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe und Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), per-fluorierte Kohlenwasserstoffe und Schwefelhexafluorid (SF_6) (vgl. IPCC, 2001, S. 244). Später kamen noch Stickstofftrifluorid (NF_3) und das natürliche Treibhausgas Wasser-dampf dazu. In einigen Literaturquellen, beispielsweise Wöhrle (2021), wird auch bo-dennahes Ozon (O_3) indirekt als Treibhausgas bezeichnet, da es ähnliche Eigenschaf-ten und Effekte hat und für viele Lebewesen gesundheitsschädlich ist. Es ist allerdings zwischen Treibhausgasen und chemisch aktiven Gasen zu differenzieren, die anders wirken und direkt oder indirekt das Klima beeinflussen. Zu solchen, oft als indirekte Treibhausgase bezeichnet, gehören unter anderem troposphärisches Ozon (O_3), Stickoxide (NO , NO_2) und Kohlenstoffmonoxid (CO) (vgl. IPCC, 2001, S. 244).

Die wichtigsten Treibhausgase im Überblick

Kohlenstoffdioxid gelangt in großen Mengen in die Atmosphäre und hat eine durch-schnittliche Verweildauer von circa 120 Jahren. Somit ist es mengenmäßig und zeitlich gesehen das wohl wichtigste Treibhausgas. Am natürlichen Treibhauseffekt ist es mit etwa 22 % beteiligt, es wird jedoch deutlich mehr Kohlenstoffdioxid durch anthropo-gene Quellen (Verbrennung fossiler Brennstoffe, Landnutzung uvm.) in die Atmo-sphäre eingebracht – Tendenz steigend. Aus diesem Grund wird der berechnete Effekt von CO_2 auf das Klima meist als Vergleichswert für die Klimawirksamkeit anderer Treibhausgase herangezogen. Das sogenannte globale Erwärmungspotential (engl. global warming potential, GWP) oder CO_2 -Äquivalent drückt aus, wie stark Gase im

Vergleich zu CO₂ zur globalen Erwärmung beitragen. Verglichen wird dabei die emittierte Strahlung einer bestimmten Menge des Treibhausgases in einem vorgegebenen Zeitraum. (vgl. Haimberger et al., 2014, S. 148; Klimabündnis Österreich & BMNT, 2019, S. 21f.; Wöhrle, 2021, S. 120)

Ein weiteres Treibhausgas ist Methan (CH₄), welches vor allem durch den Abbau von organischem Material unter Luftausschluss gebildet wird. Dies passiert vorwiegend im Magen von Wiederkäuern (Tierhaltung), beim Reisanbau und auf Mülldeponien. Das Gas wird außerdem bei der Erdöl- und Erdgasförderung freigesetzt. Methan ist zwar in geringeren Mengen in der Atmosphäre vorhanden und hat eine relativ kurze Verweildauer von zwölf Jahren, jedoch ist es laut Berechnungen 28-mal treibgaswirksamer als CO₂ und hat somit einen großen Einfluss auf den anthropogenen Klimawandel. (vgl. Haimberger et al., 2014, S. 148; Klimabündnis Österreich & BMNT, 2019, S. 22)

Distickstoffmonoxid (Lachgas, N₂O) wird durch den Abbau stickstoffhaltiger Verbindungen in Böden freigesetzt. In den letzten Jahrzehnten wurden diese vermehrt durch intensive Stickstoffdüngung in die Böden eingebracht. Massentierhaltung sowie Verbrennungs- und Kläranlagen tragen ebenfalls zum steigenden N₂O-Gehalt in der Atmosphäre bei. Die Konzentration des Treibhausgases in der Atmosphäre ist vergleichsweise gering, allerdings ist das globale Erwärmungspotential das 265-fache von Kohlenstoffdioxid. (vgl. Haimberger et al., 2014, S. 148; Klimabündnis Österreich & BMNT, 2019, S. 22)

Ein weiteres Gas, welches aufgrund seines Einflusses auf das Klima näher erläutert werden muss, ist Wasserdampf. Es trägt zu etwa 60 % zum natürlichen Treibhauseffekt bei und ist damit das wichtigste natürliche Treibhausgas. Der Mensch beeinflusst den Wasserdampfgehalt indirekt durch die Freisetzung von Methan, da beim Abbau dessen in der Stratosphäre geringe Mengen Wasserdampf gebildet werden. Aus diesem Grund wird es nicht zu den direkten Treibern des anthropogenen oder „menschengemachten“ Klimawandels gezählt. Höhere Temperaturen führen zu einer höheren Wasserdampf-Konzentration in der Atmosphäre, was wiederum zu einer weiteren Temperaturerhöhung führt. (vgl. Haimberger et al., 2014, S. 148; IPCC, 2007, S.11)

1.1.8 Natürlicher vs. anthropogener Treibhauseffekt

Der natürlich bedingte Treibhauseffekt macht Leben auf der Erde erst möglich, da er durch seine Funktionsweise für lebensfreundliche klimatische Bedingungen auf der Erdoberfläche sorgt. Ohne den Treibhauseffekt hätte es auf der Erde trotz Sonneneinstrahlung circa -19°C ⁶, da ein großer Teil der an der Erdoberfläche auftreffenden Strahlung wieder zurück ins Weltall abgegeben werden würde. Durch die Rückstrahlung der von der Erde abgegebenen Strahlung durch den natürlichen Treibhauseffekt ergibt sich im Mittel eine Temperatur von 14°C auf der Erdoberfläche. Berechnungen zeigen allerdings, dass sich die globale Mitteltemperatur in der Zeitspanne von 1880 bis 2012 um 0.85°C erhöht hat (vgl. IPCC, 2014, S. 2).

Seit der Industrialisierung um 1750 trägt der Mensch maßgeblich zur Verstärkung des Treibhauseffekts bei. Dies geschieht unter anderem durch Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle und Erdöl, die vermehrte Ausstoßung von ‚umweltschädlichen‘ Emissionen durch die Industrie, die übermäßige land- und forstwirtschaftliche Nutzung und insgesamt die Produktion von Treibhausgasen. Alle diese Faktoren beeinflussen die Energiebilanz der Erde und somit auch das regionale und globale Klima. (vgl. Haimberger et al., 2014, S. 150-152; Franz 2017, S. 24) Der menschliche Einfluss auf das Klimasystem übersteigt dabei in großem Maße die natürlichen Einflüsse wie beispielsweise Änderungen der Sonne, Vulkanausbrüche und vulkanische Aerosole (vgl. IPCC, 2007, S. 10).

Die IPCC (2014, S.VII) stellt fest, dass mit großer Wahrscheinlichkeit die Menschen den größten Teil zum momentanen Klimawandel beitragen: „Der IPCC ist nun zu 95 Prozent sicher, dass Menschen die Hauptursache der derzeitigen globalen Erwärmung sind.“

⁶ Dies zeigt die Berechnung der mittleren Gleichgewichtstemperatur der Erde mithilfe des Stefan-Boltzmann-Gesetz von 1884 (Wadmans, 2020, S. 78f.).

1.1.9 Anthropogene Einflüsse auf das Klima

Der menschliche Einfluss auf den Klimawandel ist im Detail sehr komplex, aber grundsätzlich zurückzuführen auf die Produktion bzw. Emission von großen Mengen Treibhausgasen. Durch menschliche Aktivitäten werden jährlich etwa 42 Gigatonnen CO₂ ausgestoßen. Große Teile des Kohlenstoffdioxids können von Ozeanen, Vegetation und Böden (sog. CO₂-Senken) aufgenommen und ausgeglichen werden, etwas weniger als die Hälfte der anthropogenen Emissionen bleibt jedoch in der Atmosphäre und erhöht so die CO₂-Konzentration. (vgl. Klimabündnis Österreich & BMNT, 2019, S. 23)

Gründe für die Zunahme von CO₂ in der Atmosphäre ist die Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas, wodurch über mehrere Millionen Jahre gespeicherter Kohlenstoff in die Atmosphäre gelangt. Wie Abbildung 4 zeigt, hat sich in den letzten 50 Jahren die Verbrennung fossiler Brennstoffe mehr als verdreifacht. Prozessbezogene Emissionen der Industrie, beispielsweise durch die Produktion von Zement und Biomasse, tragen ebenfalls zur vermehrten CO₂-Belastung der Atmosphäre bei. Laut APCC (2014, S.128) hat der CO₂-Gehalt der Atmosphäre seit 1959 um etwa 30 % zugenommen.

Da der Kohlenstoffgehalt in den unterschiedlichen Geosphären über den Kohlenstoffkreislauf zusammenhängt, wirkt sich die Zunahme der CO₂-Konzentration der Atmosphäre auch auf die Ozeane und andere CO₂-Speicher aus, die die steigende anthropogene CO₂-Zufuhr nicht mehr ausgleichen können.

Landnutzungsänderungen wie die Abholzung und Aufforstung von Waldflächen und deren Nutzung als Agrar- und Bauflächen sowie Waldbrände wirken zunehmend einer Bindung von CO₂ durch die Vegetation und Böden entgegen. Zusätzlich wird CO₂ durch vermehrte Verbrennung von Biomasse und durch beschleunigte Abbauprozesse ausgestoßen. (vgl. Haimberger et al., 2014, S. 150f.; Wöhrle, 2021, S. 115f.)

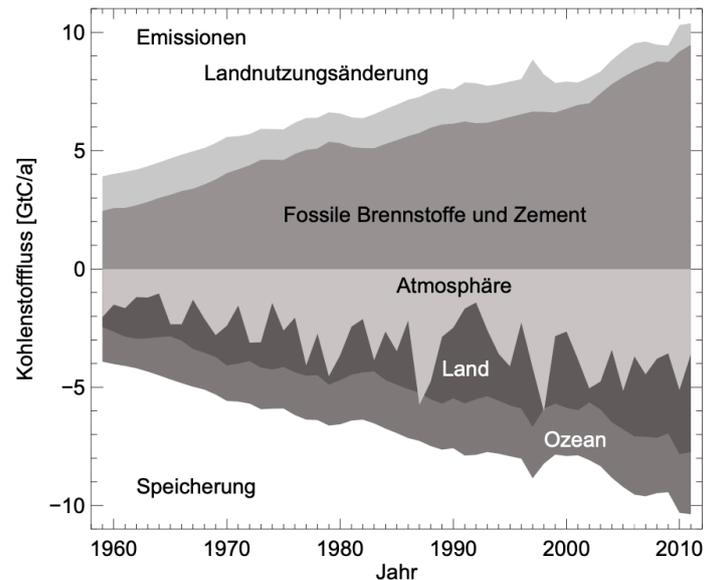


Abbildung 4: Zeitreihe der beobachteten anthropogenen globalen CO₂-Emissionen in Gt C/Jahr, sowie deren Speicherung in Atmosphäre, Ozean und Land (Haimberger et al., 2014, S. 151)

Was bei der Zunahme von CO₂ zu beobachten ist, zeigt sich auch bei anderen Treibhausgasen wie Methan (CH₄) oder Lachgas (N₂O). Beide Gase kommen aufgrund von menschlichen Aktivitäten in Landwirtschaft und Industrie vermehrt in der Atmosphäre vor und wirken verstärkend auf den Treibhauseffekt. Halogenwasserstoffgase (vor allem Fluorkohlenwasserstoffgase) wurden hauptsächlich durch menschliche Aktivitäten in die Atmosphäre eingebracht, bis bekannt wurde, dass sie zum Abbau des stratosphärischen Ozons führen. Mittlerweile gibt es internationale Vorschriften zum Schutz der Ozonschicht, wodurch sich die Konzentrationen dieser Gase in der Atmosphäre wieder verringern.

Die Menge an atmosphärischem Wasserdampf, als wichtigstes natürliches Treibhausgas, wird von Menschen nur indirekt beeinflusst. Bei einer höheren Temperatur der Luft kann zum Beispiel mehr Wasserdampf aufgenommen werden (Clausius-Clapeyron-Beziehung). Daraus folgt, dass eine vorwiegend vom Menschen herbeigeführte Temperaturerhöhung der Atmosphäre auch eine Zunahme des Wasserdampfgehaltes zur Folge hat.

Die Menschen verursachen nicht nur den Anstieg von Treibhausgasen, sondern auch von anderen, zum Treibhauseffekt bzw. Klimawandel beitragenden Stoffen, darunter auch Gase wie Stickoxide (NO, NO₂) und Kohlenmonoxid (CO). Sie beeinflussen die Zusammensetzung der Atmosphäre und führen unter anderem zur Bildung von bodennahem Ozon (O₃). (vgl. IPCC, 2007, S. 10f.; Franz, 2017, S. 24-26)

Die IPCC (2014) fasst in ihrem 5. Sachstandsbericht zusammen:

“Die anthropogenen Treibhausgasemissionen sind seit der vorindustriellen Zeit angestiegen, hauptsächlich angetrieben durch Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum, und sind nun höher als jemals zuvor. Dies hat zu atmosphärischen Konzentrationen von Kohlendioxid, Methan und Lachgas geführt, wie sie seit mindestens 800 000 Jahren noch nie vorgekommen sind. Ihre Auswirkungen wurden, in Kombination mit denen anderer anthropogener Treiber, im gesamten Klimasystem nachgewiesen und es ist äußerst wahrscheinlich, dass sie die Hauptursache der beobachteten Erwärmung seit Mitte des 20. Jahrhunderts sind.” (IPCC, 2014, S. 4)

1.1.10 Die Entwicklung des Klimas

Das Klima hat sich im Laufe der Erdgeschichte immer wieder verändert. Bereits in der Vergangenheit kam es zu drastischen Klimaänderungen, die das Leben auf der Erde über Jahrtausende bestimmt haben. Die Ursachen dieser Änderungen sind allerdings sehr individuell. So haben jeweils andere Antriebe und Faktoren zu den Eiszeiten (mit hoher Wahrscheinlichkeit Schwankungen der Erdumlaufbahn; Milanković-Zyklen), der warmen Periode zur Zeit der Dinosaurier (vermutlich hohe atmosphärische CO₂-Gehalte) oder den Klimaschwankungen im letzten Jahrtausend geführt (vgl. IPCC, 2007, S. 25). Ist der momentane Klimawandel also ungewöhnlich im Vergleich zu vergangenen Änderungen des Klimas oder könnte er auch das Ergebnis eines natürlichen Vorgangs sein?

Zuallererst ist festzuhalten, dass die Erderwärmung der letzten Jahre vor allem durch anthropogene Einflüsse bedingt ist, wohingegen die vergangenen, teilweise extremen Klimaänderungen natürlichen Ursprungs waren. Derzeit ist vor allem ein Anstieg der Treibhausgase zu beobachten, der sich auf das gesamte Klimasystem auswirkt. Dies ist sehr ungewöhnlich für den Zeitraum der letzten 2 Millionen Jahre (Quartär). Aus Untersuchungen von antarktischen Eisbohrkernen ist mittlerweile bekannt, dass die CO₂-Konzentration der letzten 650.000 Jahre zwischen einem Wert von 180 ppm und 330 ppm schwankte. Ein geschätzter Anstieg von 80 ppm nach den vergangenen Eiszeiten erstreckte sich über etwa 5.000 Jahre (vgl. IPCC, 2007, S. 27). Im Laufe des vergangenen Jahrhunderts stieg der CO₂-Gehalt der Atmosphäre hingegen sehr schnell auf einen Wert von 415 ppm (Wöhrle, 2021, S. 120), was die bisher gemessenen Werte bei weitem übersteigt.

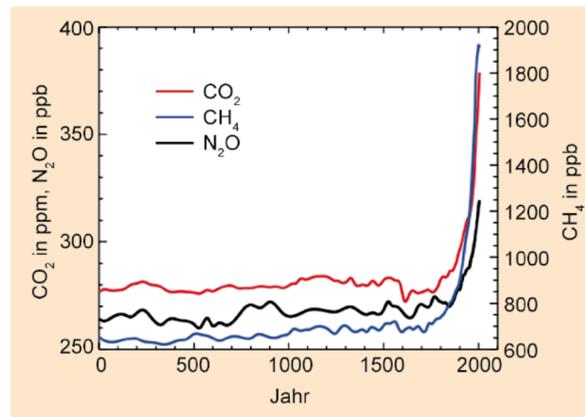


Abbildung 5: Globale mittlere Treibhausgaskonzentrationen der letzten 2000 Jahre (Wöhrle, 2021, S. 121)

Die Rekonstruktion der Temperaturänderungen der letzten Jahrtausende gibt keinen Hinweis darauf, dass die weltweite Jahresdurchschnittstemperatur seit Anfang des Holozäns (die letzten 11.600 Jahre) jemals so hoch war wie jetzt. Temperaturschwankungen von mehreren Grad Celsius traten in der Vergangenheit zwar auf, allerdings über viel längere Zeitabschnitte, wie beispielsweise während der Eiszeiten (Schwankungen zwischen 4°C und 7°C über circa 5.000 Jahre) (vgl. IPCC, 2007, S. 27f.). Die IPCC (2007, S.28) schlussfolgert: „Es ist somit klar, dass die aktuelle Geschwindigkeit der globalen Klimaänderung viel schneller und sehr ungewöhnlich vor dem Hintergrund vergangener Änderungen ist.“

1.1.11 Klimamodelle

Um die zukünftige Entwicklung des Klimas besser einschätzen zu können, werden von Forscher*innen unterschiedliche Berechnungen und Modelle erstellt. Diese dienen nicht nur zur Prognose, sondern sollen auch verschiedene Zukunftsszenarien durchspielen, um die Effizienz und Auswirkungen möglicher Handlungen zu ermitteln und zu veranschaulichen.

Klimamodelle sind mathematische Darstellungen des Klimasystems, welche auf physikalischen Prinzipien beruhen und auf leistungsfähigen Computern berechnet werden. Mittlerweile können mit zunehmender Genauigkeit wichtige Eigenschaften des Klimas wie großflächige Verteilungen der Lufttemperatur, von Niederschlag, Strahlung und Wind, sowie der Meerestemperaturen, Meeresströmungen und Meereisbedeckung dargestellt werden. Diese Modelle werden immer wieder evaluiert und die

Simulationen mit vergangenen und aktuellen Klimadaten verglichen. In den letzten Jahren wurden außerdem viele dieser Modelle gebündelt, um genauere Ergebnisse zu erhalten. Wissenschaftler*innen haben aufgrund dieser Faktoren großes Vertrauen, dass Klimamodelle zuverlässige quantitative Schätzungen der zukünftigen Klimaänderungen liefern. (vgl. IPCC, 2007, S. 32f.)

Klimamodelle weisen dennoch immer noch Fehler auf. Diese sind vorwiegend darauf zurückzuführen, dass viele kleinskalige Vorgänge noch nicht in Modellen abgebildet werden können. Dem kann allerdings mit verbesserter Rechenleistung und detaillierten Auflösungen entgegengewirkt werden. Auch natürliche Schwankungen beeinflussen diese Modelle. Manche dieser Vorgänge sind noch nicht zur Gänze erforscht und können somit nicht akkurat mit Modellen veranschaulicht werden. Große Unsicherheiten gibt es vor allem bei der Darstellung von Wolken und deren Reaktionen auf Klimaänderungen. Der Fortschritt der Forschung in den letzten Jahren verspricht aber rasante Entwicklungen in diesem Bereich. Trotz der genannten Unsicherheiten haben die Klimamodelle über mehrere Jahrzehnte hinweg ein eindeutiges Bild einer signifikanten Klimaerwärmung durch den Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen gezeichnet. (vgl. IPCC, 2007, S. 32f.; IPCC, 2013, S. 746-748)

1.1.12 Die Folgen des Klimawandels

In ihrem 5. Sachstandsbericht stellt die IPCC (2014) fest:

“In den letzten Jahrzehnten haben Klimaänderungen Folgen für natürliche Systeme und solche des Menschen auf allen Kontinenten und überall in den Ozeanen gehabt. Diese Folgen sind auf den beobachteten Klimawandel zurückzuführen, unabhängig von dessen Ursache; sie zeigen die Empfindlichkeit natürlicher Systeme und solcher des Menschen gegenüber dem sich ändernden Klima.” (IPCC, 2014, S. 6)

Der Klimawandel wirkt sich sehr unterschiedlich auf unsere Umwelt aus. In diesem Kapitel sollen einige mögliche Folgen von Klimaänderungen thematisiert und erläutert werden. Da die Auswirkungen sehr umfassend und gleichzeitig individuell sind, sollen hier nur einige Beispiele genannt werden, um zu veranschaulichen, auf wie viele unterschiedliche Bereiche das Klima Einfluss nimmt.

Die nachfolgende Abbildung (Abb. 6) zeigt das Ausmaß der unterschiedlichen Veränderungen, welche dem Klimawandel zugeordnet werden, auf den verschiedenen Kontinenten der Erde.

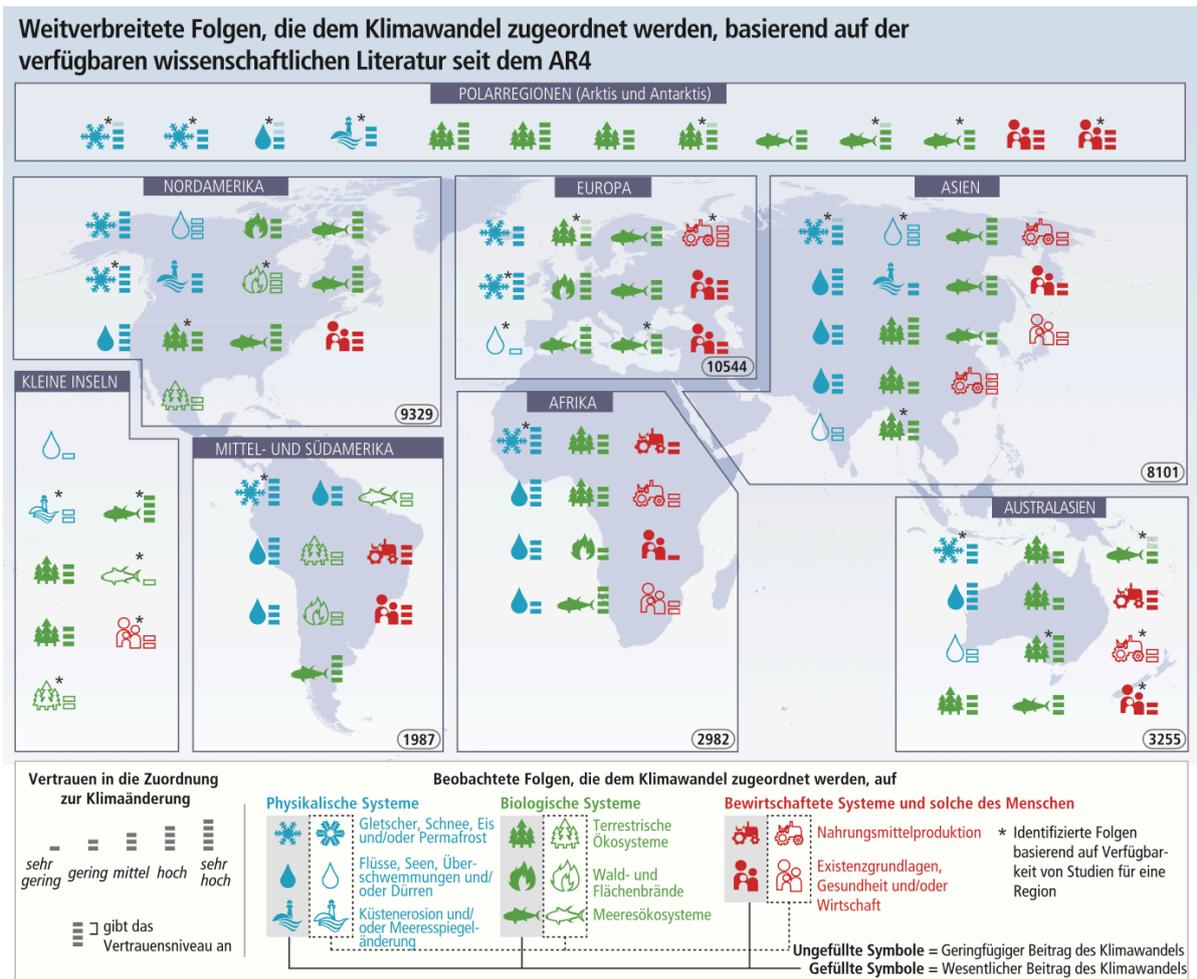


Abbildung 6: Folgen des Klimawandels (IPCC, 2014, S. 7)

Folgen für Hydro- und Kryosphäre (Wasserkreislauf)

Eine Änderung der globalen Mitteltemperatur von einem bis einigen Grad Celsius hat schwerwiegende Folgen für die auf der Erde befindlichen Eis- und Schneemassen sowie für die Ozeane.

Eis interagiert in komplexer Weise mit dem Klima, jedoch ist dessen Rückgang grundsätzlich auf das einfache Phänomen zurückzuführen, dass Eis schmilzt, wenn die Umgebungstemperatur über dem Gefrierpunkt von Wasser liegt. Beobachtungen zeigen einen erheblichen Rückgang von Eis und Schnee, vorwiegend in den Jahren seit 1980. Dies betrifft vor allem Gletscher, die extrem sensibel auf Klimaänderungen reagieren.

Das hat große Auswirkungen auf umliegende Regionen, da das dort gespeicherte Wasser wichtig für die Landwirtschaft und Trinkwassergewinnung ist und die Versorgung vieler Städte von den riesigen Wasserspeichern abhängt. Die meisten Gebirgsgletscher und Eiskappen sind bereits geschrumpft und auch in den Folgejahren ist aufgrund der Klimaänderung mit einem verstärkten Abschmelzen zu rechnen. In manchen Regionen kam es in den letzten Jahren trotz erhöhten Schneefalls zur Abnahme der Schneedecke bzw. der Gebirgsgletscher, was auf eine Zunahme der Umgebungstemperatur schließen lässt.

Das arktische Meereis, sowie Festlandeis in Grönland und Antarktis schrumpft mittlerweile in allen Jahreszeiten, besonders erheblich ist der Rückgang im Sommer. Die hohe Albedo von hellen Eis- und Schneeflächen und die Relevanz dieser für die Stabilität des Klimas wurde bereits in Kapitel 1.1.2 genauer betrachtet. Ein Rückgang von Eis und Schnee führt folglich zu einer immer schnelleren Erwärmung des Klimas (Eis-Albedo-Rückkopplung), was wiederum erhebliche Folgen für die Umwelt hat. (vgl. IPCC, 2007, S. 21f.; IPCC, 2014, S. 42; Franz, 2017, S. 62)

Permafrostgebiete sind ebenfalls vom Klimawandel betroffen. In Permafrostböden ist eine beträchtliche Menge (etwa 1400-1600 Gt) an Kohlenstoff aus abgestorbenen Pflanzen seit mehreren tausend Jahren gespeichert. Durch die steigende Umgebungstemperatur beginnen diese Böden zu tauen bzw. sich zu zersetzen, wodurch der gespeicherte Kohlenstoff in Form von Kohlenstoffdioxid und Methan freigesetzt wird. Das Auftauen der Permafrostböden führt also zur weiteren Bildung von Treibhausgasen und fördert so einen immer stärker fortschreitenden Klimawandel. (vgl. APCC, 2014, S. 28f.; Wöhrle, 2021, S. 116)

Eine weitere Folge des Klimawandels ist der sukzessive Anstieg des globalen Meeresspiegels. Dies ist hauptsächlich zurückzuführen auf das zuvor genannte Schmelzen von Eis und Schnee sowie auf die thermische Ausdehnung der Ozeane, die stattfindet, wenn sich Wasser erwärmt. Über den Zeitraum zwischen 1901 und 2010 kam es bereits zu einem Meeresspiegelanstieg von etwa 0,2 Meter, was weit über dem durchschnittlichen Anstieg der vorherigen zwei Jahrtausende liegt. Dieser Wert scheint auf den ersten Blick relativ gering, doch ist zu bedenken, dass in den folgenden Jahrzehnten mit stetig höheren Werten zu rechnen ist. Dadurch sind vor allem

Küstengebiete und niedrig liegende Gebiete gefährdet. Mit hoher Wahrscheinlichkeit wird es zu Überflutungen, Küstenüberschwemmungen und Küstenerosion kommen. Die aktuelle Forschung deutet darauf hin, dass der Meeresspiegel weiter steigen wird und bei einer Erwärmung von über 2°C der globalen Mitteltemperatur könnte es über das nächste Jahrhundert hinweg zum vollständigen Verlust der Eisschilde Grönlands kommen, was einen Meeresspiegelanstieg von etwa sieben Metern zur Folge hätte. Auf Basis der verfügbaren Forschung werden solche abrupten, großskaligen Änderungen als unwahrscheinlich für das 21. Jahrhundert eingestuft, allerdings wird deren Auftreten mit weiterer Belastung des Klimas immer wahrscheinlicher (vgl. IPCC, 2007, S. 23f. & 40; IPCC, 2013, S. 1140; IPCC, 2014, S. 42-44)

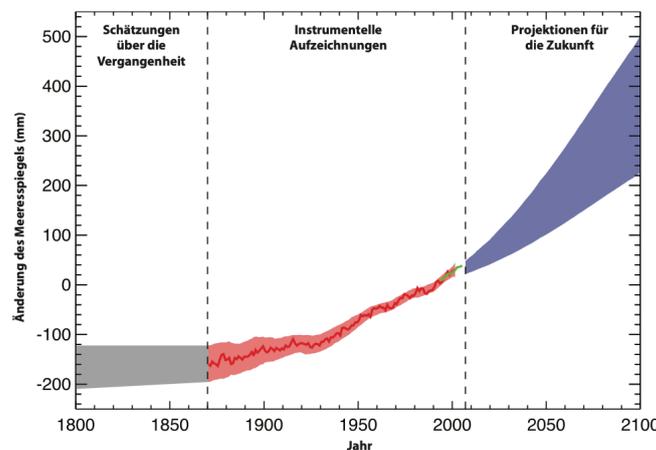


Abbildung 7: Zeitreihe des mittleren globalen Meeresspiegels in der Vergangenheit und Projektionen für die Zukunft (IPCC, 2007, S. 23)

Extremereignisse

„Folgen jüngster extremer klimatischer Ereignisse wie Hitzewellen, Dürren, Überschwemmungen, Wirbelstürme und Wald- oder Flächenbrände, zeigen eine signifikante Verwundbarkeit und Exposition einiger Ökosysteme und vieler Systeme des Menschen gegenüber derzeitigen Klimaschwankungen [...]“ (IPCC, 2014, S. 8)

Unter Extremwetterereignissen werden jene Ereignisse verstanden, die in ihrem Verlauf deutlich vom Durchschnitt abweichen. Solche extremen Bedingungen sind meist die Folge einer Kombination mehrerer Faktoren. Einige dieser Veränderungen werden auf menschliche Einflüsse auf das Klima zurückgeführt. Berechnungen haben gezeigt, dass sich durch den anthropogenen Einfluss die Wahrscheinlichkeit des Auftretens solcher Ereignisse im Mittel signifikant erhöht.

Seit etwa 1950 wurden deutliche Veränderungen in der Häufigkeit und Intensität von extremen Wetter- und Klimaereignissen beobachtet. Diese Veränderungen sind regional unterschiedlich. Global betrachtet konnte dennoch ein Rückgang der kalten Tage und Nächte und eine Zunahme der warmen Tage und Nächte sowie von Hitzewellen und Dürren festgestellt werden. Während längere Hitzewellen ein Gesundheitsrisiko für viele Lebewesen darstellen, führen Dürren zu Einbußen in der Landwirtschaft und gefährden die Trinkwasserversorgung vieler Ökosysteme. Wald- und Flächenbrände haben ebenfalls merkliche Folgen für die Bio- und Atmosphäre der Erde (Lebensraum, Luftqualität uvm.).

In einigen Gebieten hat der durchschnittliche Niederschlag abgenommen, während es in anderen Regionen, vor allem in den letzten 50 Jahren, zu vermehrten Starkregenereignissen kam – auch an Orten, an denen der durchschnittliche Niederschlag nicht zunahm. Dies ist zurückzuführen auf die Veränderung des Wasserdampfgehalts in der Atmosphäre, da bei einer Temperaturzunahme auch die Kapazität der Luft, Wasserdampf aufzunehmen, steigt. Es ist anzumerken, dass Regenereignisse nicht häufiger auftreten werden, jedoch mit größeren Niederschlagsmengen zu rechnen ist, was wiederum das Überschwemmungsrisiko in betroffenen Gebieten erhöht.

Ähnliches ist bei der Häufigkeit und Intensität von tropischen Stürmen und Wirbelstürmen zu beobachten. Durch enorme Temperaturunterschiede zwischen den tropischen und polaren Breiten kommt es schlussendlich zur Geschwindigkeitserhöhung und Verschiebung der Jetstreams⁷. Dadurch entstehen stärkere Winde und Stürme, wodurch auch die potenzielle Zerstörungskraft der Wirbelstürme zunimmt. Seit den 1970er Jahren gibt es einen Aufwärtstrend solcher Stürme, wobei auch eine längere Sturmdauer und eine größere Sturmintensität bzw. Zerstörungskraft vermerkt wurde. (vgl. IPCC, 2007, S. 19f.; IPCC, 2014, S. 7f.; Franz, 2017, S. 60f.)

⁷ Jetstreams sind dynamische Starkwindbänder in der Atmosphäre, die sich aufgrund von globalen Ausgleichsbewegungen zwischen unterschiedlichen Temperaturregionen und Hoch- und Tiefdruckgebieten bilden.

Auswirkungen auf Ökosysteme (Artenvielfalt, Landwirtschaft)

Ökosysteme basieren auf unterschiedlichen Wechselwirkungen und Interaktionen zwischen Lebewesen und ihrer Umwelt. Das Klima ist dabei ein beeinflussender Faktor, der auf solche Systeme einwirkt und diese verändert. Durch die globale Erwärmung und der damit einhergehenden Zunahme von Ökosystemstörungen können Pflanzen und Tiere nicht mehr in ihren gewohnten Lebensräumen überleben und so müssen sie sich entweder an die veränderten Gegebenheiten anpassen oder in andere Regionen ausweichen. (vgl. Hauck, Leuschner & Homeier, 2019, S. 38-40; Klimabündnis Österreich & BMNT, 2019, S. 35f.)

Die IPCC (2014, S. 50) vermerkt bereits eine deutliche Veränderung in verschiedenen Ökosystemen:

„Viele terrestrische, Süßwasser- sowie marine Arten haben ihre geographischen Verbreitungsgebiete, jahreszeitlichen Aktivitäten, Migrationsmuster, Populationsgrößen und Interaktionen zwischen den Arten in Reaktion auf den anhaltenden Klimawandel verändert [...]“. (IPCC, 2014b, S. 50)

Aufgrund der vermehrten Landnutzung der Menschen wird es immer schwieriger adäquate Rückzugsgebiete für Lebewesen zu finden, da mittlerweile nur mehr etwa ein Fünftel der Landfläche weitgehend ungenutzt ist und die Naturräume oft nicht mehr miteinander verbunden sind, was die Migration erschwert oder unmöglich macht. Als Folge dessen sterben viele Arten von Pflanzen und Tieren aus. In den letzten Jahrzehnten kam es zu einer rasanten Verminderung der Biodiversität und Artenvielfalt auf der Erde. Auch in Zukunft ist mit zunehmendem Artensterben zu rechnen, was verheerende Folgen für die Erde haben wird und schlussendlich auch das Leben der Menschen auf der Erde gefährden wird. (vgl. IPCC, 2014, S. 68-73; Hauck, Leuschner & Homeier, 2019, S. 38-40; Klimabündnis Österreich & BMNT, 2019, S. 35f.)

1.2 Klimawandel im Chemieunterricht

Der Klimawandel ist ein gesellschaftliches Problem, welches vor allem für Schüler*innen als zukünftige Entscheidungsträger*innen und Wähler*innen von großer Bedeutung ist. Um diesem angemessen entgegen zu treten, müssen Lernende die grundlegenden Prozesse hinter den damit verbundenen Phänomenen kennenlernen und verstehen (vgl. Jarrett & Takacs, 2020, S. 400). Das Thema sollte also in der Schule und vor allem auch im naturwissenschaftlichen Unterricht behandelt werden, um Kinder und Jugendliche angemessen dafür zu sensibilisieren: „Effective public education on global warming [...] is essential“ (Bord, O'Connor, & Fischer, 2000, S. 216). Schreiner et al. (2005, S.4) schlussfolgern: „[...] empowering today's youth to act against climate change should be an important goal of education“. *Empowering* bzw. *empowerment* meint in diesem Zusammenhang „a prerequisite for action“ und inkludiert „content-specific knowledge and cognitive skills, motivational patterns and personal value orientation“ (Schreiner, Henriksen, & Kirkeby Hansen, 2005, S. 8).

Da es im Chemieunterricht um das Verständnis von chemischen Prozessen und Phänomenen geht, darf auch hier das Thema Klimawandel nicht fehlen. Es stellt sich allerdings die Frage, wie und in welchem Ausmaß das Thema behandelt werden soll. Der Sachverhalt ist relativ komplex und in der Sekundarstufe I eher schwierig umzusetzen. Somit kann das Thema dort nur oberflächlich behandelt werden. Jedoch ist es nicht notwendig, dass Schüler*innen die atmosphärischen Prozesse im Detail kennen, um für dieses Thema sensibilisiert zu werden. Es genügt laut Mauthner (2010, S. 8) auch, über Ursache und Wirkung Bescheid zu wissen, um „zu einem umweltgerechten Handeln im Alltag befähigt [zu] werden“. Dies sollte im Chemieunterricht erreicht werden.

1.2.1 Lehrplan

Beim Durchforsten der AHS-Lehrpläne lässt sich feststellen, dass das Thema Klima und Klimawandel eher selten explizit als Lehrstoff genannt wird, aber immer wieder in Zusammenhang mit Umweltbildung ein zentrales Bildungsziel bildet (vgl. Bundesministerium für Bildung, 2021). Im Lehrplan Chemie ist im Lehrstoff der vierten

Klasse (Schulstufe 8) folgendes im Bereich „Rohstoffquellen und ihre verantwortungsbewusste Nutzung“ zu finden:

„Erkennen von Luft, Wasser und Boden als Rohstoffquelle einerseits und schützenswerte Lebensgrundlage andererseits. [...] Wissen um die Bedeutung, Gewinnung und Verarbeitung fossiler Rohstoffe. [...] Prinzipielles Verstehen von Umweltproblemen als Störung natürlicher Systeme. [...] Erkennen der Bedeutung chemischer Methoden bei der Minimierung von Schadstoffen. [...] Erwerb von chemischen Grundkenntnissen in praxisrelevanten Gebieten wie [...], Energiequellen und Energieversorgung, Verkehr und neue Technologien.“ (Bundesministerium für Bildung, 2021)

In der Unterstufe wird der Klimawandel bzw. die globale Erwärmung also nicht direkt erwähnt, aber im Lehrstoff sind einige Themen enthalten, die mit dem Klimawandel in Verbindung gesetzt werden können, was notwendig für ein umfassendes Verständnis der Thematik ist. Im Lehrplan der Oberstufe ist die Umweltbildung indirekt unter den Beiträgen zu allgemeinen Bildungsbereichen zu finden: „Verantwortung für den nachhaltigen Umgang mit materiellen und energetischen Ressourcen über Grenzen hinweg; [...] Grundlegende Kenntnisse über Funktion und Vernetzung natürlicher und anthropogener Stoffkreisläufe“ (Bundesministerium für Bildung, 2021). Im regulären Lehrstoff der Oberstufe ist dies jedoch sehr kurz gehalten und findet sich in der siebten Klasse als „Die Verwendung von fossilen Rohstoffen als Energieträger beurteilen“ im ersten Semester (Kompetenzmodul 5) und im zweiten Semester (Kompetenzmodul 6) wie folgt:

„Funktion und Vernetzung natürlicher und anthropogener Stoffkreisläufe erklären. [...] Den Umgang mit materiellen und energetischen Ressourcen bewerten und dabei regionale und europäische Besonderheiten berücksichtigen. [...] Entstehung und Wirkung von Schadstoffen beschreiben.“ (Bundesministerium für Bildung, 2021)

In der achten Klasse (Schulstufe 12) wird die Umweltbildung hingegen gänzlich ausgespart.

Meist wird der Klimawandel auch im Geografie- und Wirtschaftskundeunterricht eingehend behandelt und es muss eingeschätzt werden, inwieweit man dieses globale Umweltproblem noch im Chemieunterricht thematisieren sollte, um die Lernenden nicht zu überfordern oder mit dem immer gleichen Thema zu langweilen. Jedoch würde es sich anbieten fächerübergreifenden Unterricht zu gestalten und auch andere Fächer wie Biologie und Geschichte und Sozialkunde miteinzubeziehen, um die globale Erwärmung und die zugehörigen Prozesse aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten. Es ist allerdings darauf zu achten, die Bearbeitung des Themas nicht zu

bedrückend zu gestalten, um die Schüler*innen nicht zu entmutigen bzw. zu demotivieren, etwas dagegen zu unternehmen und sich für eine ‚klimabewusstere‘ und ‚klimaneutralere‘ Zukunft einzusetzen.

1.2.2 Schulbücher

Dieses Kapitel beinhaltet keine Schulbuchanalyse oder einen Vergleich der vorhandenen aktuellen österreichischen Schulbücher, sondern soll einen Überblick über die Themen und Fakten zum Klimawandel geben, wie sie in einigen, viel genutzten Schulbüchern für den Chemieunterricht zu finden sind.

Die von den meisten österreichischen Schulen verwendeten Schulbücher ‚Stoffe‘ (4. Klasse) bzw. ‚Elemente‘ (7. Klasse) und ‚Moleküle‘ (8. Klasse) oder zusammen ‚EL-MO‘, welche vom Österreichischen Schulbuchverlag herausgegeben werden (Stand 2021), haben das Thema Klimawandel für die Lernenden relativ ausführlich aufgeschlüsselt.

Gleich zu Anfang sticht heraus, dass sich der Lehrstoff der vierten und siebten Klasse sehr ähnelt, wobei die Themen in der Oberstufe natürlich etwas umfangreicher und genauer vorgestellt werden. In der Unterstufe werden die Themen Ozonschicht und Ozonloch, Treibhauseffekt und Treibhausgase im Kapitel „Bedrohung und Schutz unserer Umwelt“ vorgestellt. In Fließtext wird zwar eindeutig zwischen Ozonschicht bzw. -loch und dem Treibhauseffekt differenziert, jedoch könnten die Abbildungen zum Treibhauseffekt verwirren, da hier auch die Ozonschicht illustriert wird (vgl. Magyar et al., 2014, S.118-124).

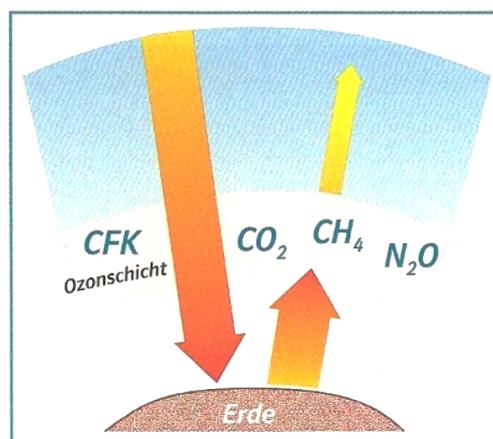


Abbildung 8: Der Treibhauseffekt im Schulbuch Stoffe (Magyar et al., 2014, S.124)

Im Schulbuch ‚Elemente‘, welches für das erste Chemie-Lernjahr in der Oberstufe vorgesehen ist, gehen die Autor*innen genauer auf das globale Umweltproblem ein. Hier wird ebenfalls zwischen Ozonschicht bzw. Ozonloch und Treibhauseffekt differenziert.

Auffallend ist, dass vor allem Wasserdampf neben Kohlenstoffdioxid, Methan, Stickstoffoxiden und FCKW als Treibhausgas hervorgehoben wird. Des Weiteren wird auf die Folgen des Klimawandels wie beispielsweise Temperaturzunahme der Ozeane eingegangen (vgl. Magyar, Jelinek, & Faber, 2011, S. 132-137). Im Schulbuch ‚EL-MO‘ werden außerdem diverse Einflüsse und Auswirkungen der globalen Erwärmung diskutiert (Magyar et al., 2020, S.128-130). In der Oberstufe ist außerdem laut Schulbuch vorgesehen, die diversen Kreisläufe im Klimasystem in Verbindung mit dem Treibhauseffekt zu bearbeiten. In den vorliegenden Schulbüchern ist vor allem der Kohlenstoffkreislauf in Verbindung mit einigen anschaulichen Abbildungen beschrieben.

Der Lehrplan der achten Klasse sieht eine Bearbeitung der Thematik nicht vor. Daraus folgt, dass auch die Schulbücher dieser Schulstufe das Thema nicht behandeln.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die vorgestellten Schulbücher das Thema des Klimawandels sehr umfangreich und genau bearbeiten und es scheint, als wäre sehr darauf geachtet worden, bereits bekannte Schülervorstellungen zu diesem Thema bei der Zusammenstellung der Materialien zu berücksichtigen. Warum also wird das Thema im Chemieunterricht gerade in der Oberstufe oft wenig bis gar nicht besprochen? Der Zeitfaktor spielt hier wohl eine relativ große Rolle, da der Chemieunterricht grundsätzlich aufbauend gestaltet ist und die grundlegenden chemischen Prozesse zuerst vermittelt werden müssen, um dann spätere Reaktionsmechanismen und Ähnliches verstehen zu können. Themen wie Umweltschutz werden dabei oft ausgespart, da einfach die Zeit fehlt, diese mit den Lernenden zu bearbeiten und viele Lehrkräfte sich wohl auch darauf verlassen, dass das Thema in anderen Fächern bereits behandelt wurde.

2. Schülervorstellungen

2.1 Charakterisierung von Schülervorstellungen

Wie aus der fachdidaktischen Forschung bereits bekannt, sind Schüler*innen nicht als ‚unbeschriebene Blätter‘ anzusehen, wenn sie mit naturwissenschaftlichem Unterricht erstmals in Kontakt kommen. Sie bringen zu vielen Themen Vorstellungen und Erwartungen mit in den Unterricht, die teilweise nicht den wissenschaftlichen Erkenntnissen entsprechen. Die Relevanz dieser Vorstellungen und Erwartungen für das Lehren und Lernen wird schon früh von Forscher*innen erkannt: „Ohne die Kenntniß des Standpunktes des Schülers ist keine ordentliche Belehrung desselben möglich“ (Diesterweg, 1850; zit. nach Gropengießer & Marohn, 2018, S. 49). Jahre später macht Ausubel deren Bedeutung für den Lernprozess ebenfalls deutlich: “The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly” (Ausubel, 1968, S. VI). Für einen erfolgreichen Unterricht ist also nicht nur die Erhebung und Kenntnis der vorunterrichtlichen Vorstellungen der Lernenden ausschlaggebend, sondern diese sollten auch bei der Unterrichtsplanung und Vermittlung der Inhalte berücksichtigt und miteinbezogen werden.

Um Schülervorstellungen erheben und charakterisieren zu können ist es zuallererst notwendig, diese zu (er)kennen. Schülervorstellungen sind Denkkonzepte zu Phänomenen, Vorgängen und Begriffen, die Schüler*innen mit in den Unterricht bringen (vgl. Rohrbach-Lochner, 2019, S. 68). Sie werden durch unterschiedliche Alltagserfahrungen erworben und sind meist tief verankert. Diese Erfahrungen beeinflussen das Verständnis und den Lernprozess neuer Inhalte maßgeblich und können diesen vereinfachen, aber auch Lernschwierigkeiten hervorrufen. Stimmen die Vorstellungen der Lernenden nicht mit den Erklärungen der Unterrichtsinhalte überein, wird erst an den bekannten Inhalten festgehalten oder es entstehen neue hybride Denkkonzepte.

Schülervorstellungen werden oftmals als *Falsch-* oder *Fehlvorstellungen* bezeichnet, da sie von den anerkannten wissenschaftlichen Konzepten abweichen können. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass diese Vorstellungen sehr wohl auch fachlich korrekt sein können und die Lernenden sich so selbst eine logische Vorstellungswelt

schaffen. Barke empfiehlt folgende wertneutrale, alternative Bezeichnungen für Schülervorstellungen:

- Alltagsvorstellung oder lebensweltliche Vorstellung,
- ursprüngliche oder vorwissenschaftliche Vorstellung,
- Schülervorverständnis oder Präkonzept,
- alternative Vorstellung.

(vgl. Barke, Harsch, Kröger, & Marohn, 2018, S. 12)

Schüler*innen bringen eine Vielzahl von Vorstellungen in den Unterricht mit. Diese können auf vorhergegangenen Unterricht beruhen, meist werden sie aber in außerschulischen Kontexten entwickelt. Alltagserfahrungen, Alltagssprache und Medien spielen dabei eine große Rolle. (vgl. Duit, Wilhelm, Hopf, & Schecker, 2018, S. 12) Zu Beginn des naturwissenschaftlichen Unterrichts sind die Denkmuster der Schüler*innen vor allem durch alltägliche und lebensweltliche Erfahrungen geprägt. Im Verlauf der Schulzeit werden diese dann durch Erfahrungen aus anderen Schulfächern ergänzt und bilden ein für die Lernenden sinnvolles Konstrukt (vgl. Rohrbach-Lochner, 2019, S. 74f.) Bei der Entwicklung von solchen Vorstellungen werden häufig Erfahrungen aus mehreren Bereichen miteinander verknüpft.

2.2 Erhebung von Schülervorstellungen

Es gibt eine Vielzahl von unterschiedlichen Möglichkeiten, um Schülervorstellungen zu erfassen. Im Folgenden werden nach Duit et al. (2018) zwischen schriftlichen und mündlichen Datenerhebungsverfahren unterschieden.

Das wohl verbreitetste Verfahren zur Schülervorstellungserhebung sind schriftliche Tests, meist in Form von Fragebögen oder Multiple-Choice-Tests, die je nach Themengebiet und spezifischer Unterrichtseinheit variieren (vgl. Barke, 2006, S. 1). Als Beispiel wäre hier der Test „*Force Concept Inventory*“ (Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992) zu nennen. Dieser besteht aus Aufgaben mit mehreren Antwortmöglichkeiten, von denen eine die korrekte Lösung ist (Attraktor), während die anderen Antwortmöglichkeiten bereits bekannte Schülervorstellungen darstellen (Distraktoren). Neuere Tests verwenden dasselbe Schema, jedoch wird oft noch eine weitere Stufe hinzugefügt, in der die Lernenden eine Begründung angeben sollen (vgl.

Duit et al., 2018, S. 18). Angelehnt an dieses Verfahren entwickelte beispielsweise Zeilik (o.J.) die „*Conceptual Diagnostic Tests*“, welche verwendet werden, um in Erfahrung zu bringen, ob Schüler*innen bestimmte Schlüsselkonzepte vor, während und nach einer Unterrichtseinheit verstanden haben.

Ist in einem Themengebiet noch wenig über bestehende Schülervorstellungen bekannt, sind Aufgaben mit offenem Antwortformat geeigneter. Die Schüler*innen können bei offenen Fragen ihre Vorstellungen mit einigen Stichwörtern, einem kurzen Text oder einer Skizze präsentieren. Weitere Möglichkeiten sind Wortassoziationstests (Jung, 1981), bei denen die Lernenden Begriffe mit einem bestimmten naturwissenschaftlichen Konzept (z.B. Energie) assoziieren sollen, sowie Concept Maps, auch als Begriffsnetze bezeichnet. Diese geben Auskunft darüber, wie Lernende bestimmte Begriffe, Phänomene und Objekte miteinander verknüpfen und ob sie in der Lage sind, Zusammenhänge differenziert wiederzugeben (vgl. Behrendt & Reiska, 2001, S. 9).

Es ist anzumerken, dass Fragebögen und schriftliche Tests im Allgemeinen von Schüler*innen zumeist als Lernerfolgskontrollen verstanden werden. Aus diesem Grund sollte vor dem Einsatz der Datenerhebung immer klargestellt werden, dass es sich um ein Diagnoseverfahren und nicht um eine Leistungskontrolle handelt. (vgl. Rohrbach-Lochner, 2019, S. 86)

Das meistgenutzte mündliche Datenerhebungsverfahren sind Interviews. Diese sind besonders nützlich, um Schülervorstellungen in einem neuen Themengebiet zu erfassen, da die Bereitschaft längere, offene Antworten zu geben bei mündlicher Datenerhebung deutlich größer ist, als bei schriftlichen Tests. Oft werden mündliche Befragungen mit Bildmaterial oder Skizzen unterstützt, was vor allem im Anfangsunterricht vorteilhaft ist (vgl. Duit et al., 2018, S. 17). Schülervorstellungen können aber auch mittels Mitschnitten oder Aufnahmen von naturwissenschaftlichem Unterricht erfasst werden, indem diese transkribiert und interpretiert werden.

Ein erfolgsversprechendes Erhebungsinstrument (und auch Interventionsinstrument) stellen Concept Cartoons dar. Dabei handelt es sich um comicartig gezeichnete Situationen, in denen mehrere Personen ihre Vorstellungen zu einer Alltagssituation oder einem Phänomen äußern. Diese Vorstellungen sind meist in Sprechblasen dargestellt (vgl. Keogh & Naylor, 1999, S. 432). Vorhandene Präkonzepte zu einem

Thema können zu Beginn des Unterrichts mithilfe eines passenden Concept Cartoons ermittelt und diskutiert werden.

2.3 Schülervorstellungen und Lernen

2.3.1 Konstruktivismus

Die theoretischen Grundlagen der Schülervorstellungen und deren Veränderung sind im Konstruktivismus begründet. Dieser führt die menschliche Wahrnehmung auf die Leistung des Gehirns zurück und betont dabei deren Individualität und Subjektivität (vgl. Gropengießer & Marohn, 2018, S. 54f.). Lernende *konstruieren* ihren „Bestand an Wissen und Vorstellungen eigenständig durch eine individuelle Verarbeitung von Sinneseindrücken und angebotenen Informationen.“ (Duit, Wilhelm, Hopf, & Schecker, 2018, S. 24)

Vorstellungen werden folglich als subjektive kognitive Prozesse angesehen, die zu einem mentalen Ergebnis führen. Sie können also weder weitergegeben noch direkt aufgenommen werden. Fachdidaktiker*innen befassen sich mit den Vorstellungen der Lernenden, versuchen sie zu erfassen und ihre Äußerungen dahingehend zu interpretieren. Es findet dabei also genau genommen eine zweifache Interpretation des Sachverhalts statt, zuerst durch den Lernenden, dann durch die Lehrkraft (vgl. Gropengießer & Marohn, 2018, S. 50).

2.3.2 Conceptual Change und Conceptual Growth

Um von bereits vorhandenen Vorstellungen zu wissenschaftlichen Vorstellungen überzuführen, können kontinuierliche oder diskontinuierliche Lernwege eingeschlagen werden (vgl. Mauthner, 2010, S. 51).

Diskontinuierliche Wege zeichnen sich durch eine grundlegende Veränderung der vorhandenen Konzepte aus. Ein solcher Konzeptwechsel oder *Conceptual Change* kann nur dann erreicht werden, wenn den Lernenden Widersprüche in ihren Denkmustern aufgezeigt werden. Dies ist nach Posner et al. (1982, S.214) unter folgenden Bedingungen möglich: Die Schüler*innen müssen mit dem vorhandenen Konzept unzufrieden sein und das vorgestellte neue Konzept in einem gewissen Maß

verstanden haben. Außerdem muss das neue Konzept logisch und plausibel erscheinen und auf neue Situationen und Phänomene übertragbar sein. Es muss also ein kognitiver Konflikt entstehen, also eine Konfrontation mit Informationen, die den bereits vorhandenen Vorstellungen widersprechen (vgl. Gropengießer & Marohn, 2018, S. 58), um eine Veränderung der Vorstellungen zu erreichen. Das Level des kognitiven Konflikts darf dabei für die Lernenden weder zu niedrig noch zu hoch sein, um tatsächlich lernwirksam zu sein (vgl. Lee & Byun, 2012). Es ist außerdem anzumerken, dass Prozesse des *Conceptual Change* meist nicht schlagartig, sondern schrittweise und langsam ablaufen. (vgl. Duit et al., 2018, S. 29)

Dieser diskontinuierliche Lernweg hat sich zwar als effektiv erwiesen, jedoch ist ein Konzeptwechsel schwer in die Praxis umzusetzen. Die Schüler*innen sind meist zufrieden mit ihren Konzepten und Vorstellungen, welche sich jahrelang als sinnvoll und nützlich erwiesen haben. Solange die neuen Konzepte nicht vollständig verstanden wurden, gestaltet es sich schwierig, die erwähnte Unzufriedenheit gegenüber den eigenen Vorstellungen hervorzurufen.

Kontinuierliche Wege sind dagegen bestrebt, an vorhandene Vorstellungen anzuknüpfen und eine „Brücke von den ursprünglichen Vorstellungen zu den wissenschaftlichen Vorstellungen“ (Barke, Harsch, Kröger, & Marohn, 2018, S. 34) zu schlagen. Während dieses Prozesses werden mögliche Berichtigungen und Erweiterungen der Konzepte vorgenommen. Dadurch sind die Lernenden nicht mit vollkommen konträren Konzepten konfrontiert und müssen auch nicht vollends von ihren bewährten Vorstellungen ablassen. Hier wird von Konzeptwachstum oder *Conceptual Growth* gesprochen.

2.4 Unterricht auf Basis von Schülervorstellungen

Aus der naturwissenschaftlich-didaktischen Forschung geht hervor, dass Unterricht, der vorhandene Vorstellungen nicht berücksichtigt, langfristig nur wenig erfolgreich ist. Sollten die neuen Konzepte von den Lernenden trotz Nichtberücksichtigung der Präkonzepte angenommen werden, bleiben diese meist nur bis zur nächsten Leistungsüberprüfung erhalten. Sie werden schnell wieder vergessen und die Lernenden kehren zu ihren ursprünglichen, tief verwurzelten Vorstellungen zurück. (Barke, Harsch, Kröger, & Marohn, 2018, S. 34)

Es wurde lange angenommen, dass fachlich falsche Vorstellungen durch fachlich korrekte Konzepte ersetzt werden müssen. Nach dem konstruktivistischen Verständnis des Lernens, können fachlich falsche Vorstellungen jedoch nicht in einem einfachen Austauschprozess durch wissenschaftlich gültige Konzepte ersetzt werden. Es muss vielmehr an bereits vorhandene Denkkonzepte angeknüpft werden, um diese dann schrittweise zu verändern und zu erweitern. Dazu muss eine passende Lernumgebung geschaffen werden, die Schüler*innen in Richtung fachlich richtiger Vorstellungen lenkt. Die Lerninhalte sollten außerdem so konzipiert sein, dass die Lernenden mit authentischen Problemen und persönlich bedeutsamen Konzepten selbstbestimmt arbeiten können. (vgl. Rohrbach-Lochner, 2019, S. 86) Die Unterrichtsplanung sollte dabei auf den Vorstellungen sowie den Interessen und Einstellungen der Lernenden basieren: „Der Unterricht muss also an den Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler anknüpfen und ihre Eigenaktivitäten fordern und fördern.“ (Duit, 2007, S. 581)

2.4.1 Didaktische Rekonstruktion

Bei der Entwicklung von Unterricht ist die fachliche Klärung ein wichtiger Bestandteil fachdidaktischer Arbeit. Jedoch genügen meist fachliche Überlegungen nicht, um einen erfolgreichen Unterricht zu planen und Lernschwierigkeiten zu vermeiden. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion setzt fachliche Vorstellungen mit Schülerperspektiven so in Beziehung, dass daraus ein Unterrichtsgegenstand entwickelt werden kann. Die fachlichen Sachverhalte werden im Unterricht weit stärker als im wissenschaftlichen Bereich in umweltliche, gesellschaftliche und individuelle Zusammenhänge eingebettet, um ihre Bedeutung für das Leben in der Gesellschaft und in der belebten und unbelebten Natur zu verdeutlichen. Die Unterrichtsinhalte sind also nicht vom Wissenschaftsbereich vorgegeben, sondern müssen in pädagogischer Zielsetzung erst hergestellt, also didaktisch rekonstruiert werden. (vgl. Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S.3f.)

Bei der didaktischen Rekonstruktion eines Unterrichtsgegenstandes werden drei wechselwirkende Teile aufeinander bezogen: die fachliche Klärung, die Erfassung von Schülervorstellungen und die didaktische Strukturierung (siehe Abb. 8). Grundlage des

Modells ist die Abhängigkeit didaktischer und fachlicher Aspekte (vgl. Kattmann et al., S. 4).

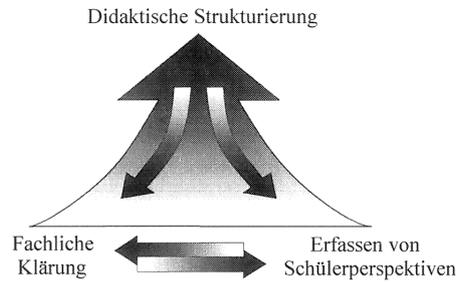


Abbildung 9: Fachdidaktisches Triplet: Beziehungsgefüge der Teilaufgaben im Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997, S. 4)

Das Modell zeigt, dass eine Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen Anregungen für die fachliche Klärung von Unterrichtsinhalten geben und fachliche Sachverhalte ebenso Anlass für eine genauere Analyse von Schülervorstellungen bieten kann (vgl. Duit et al., 2018, S. 4).

Der Lehrkraft muss bewusst sein, dass sich die Vorstellungen von Experten und Laien grundlegend unterscheiden. Die Schüler*innen sehen Sachverhalte aus einer deutlich anderen Perspektive, da ihnen die Expertise und die wissenschaftliche Erfahrung fehlt und sie ein anderes Vorverständnis haben. Daraus ergibt sich, dass Lernende aufgrund ihrer Vorstellungen Unterrichtssituationen (Experimente, Aufgaben) anders einordnen und bewerten und dadurch zu anderen Schlussfolgerungen kommen können, als von der Lehrkraft erwartet. (vgl. Duit et al., 2018, S. 8)

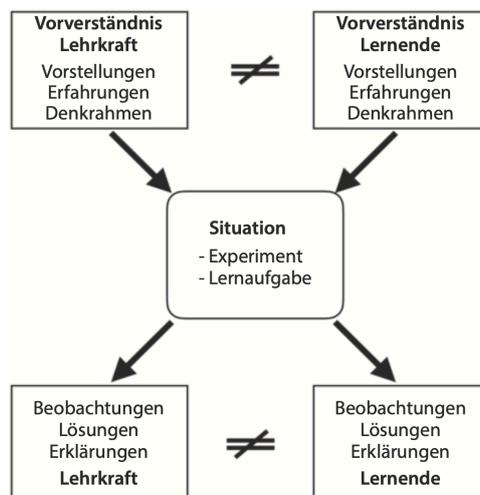


Abbildung 10: Unterschiedliche Vorverständnisse führen zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen (Duit, Wilhelm, Hopf, & Schecker, 2018, S. 9)

Die Lehrkraft muss also versuchen, sich bei der Unterrichtsplanung und auch bei der Durchführung und Vermittlung der Inhalte in die Lernenden hineinzusetzen und bestehende Schülervorstellungen berücksichtigen. Präkonzepte müssen ermittelt und in den Unterricht miteinbezogen werden, um einen erfolgreichen Lernprozess zu gewährleisten. Es ist außerdem notwendig, dass Lehrende und Lernende abgleichen, was sie mit bestimmten Begriffen und Bedeutungen verbinden, um eine funktionierende Kommunikation zu gewährleisten.

2.5 Schülervorstellungen zum Klimawandel

Dem Klimawandel liegen komplexe chemische und biologische Prozesse zugrunde. Um ein vollständiges Verständnis für diese Thematik zu entwickeln, wird grundlegendes Wissen auf unterschiedlichen Gebieten benötigt. Viele der wissenschaftlichen Erkenntnisse korrelieren und kollidieren mit bestehenden Schülervorstellungen. Die Forschung auf dem Gebiet der Schülervorstellungen der letzten Jahrzehnte zeigt, dass alternative Vorstellungen zu diesem Thema weit verbreitet, konsistent und hartnäckig (persistent) sind. Schreiner et al. (2005) meinen dazu:

“Although students have some of the important scientific understanding of climate in place, there are some common misunderstandings, some alternative conceptions and some 'missing links' in the conceptual understanding that are found across age groups and in several countries.” (Schreiner, Henriksen, & Kirkeby Hansen, 2005, S. 42)

Im Folgenden werden einige Schülervorstellungen zum Thema Klimawandel erläutert, die bei verschiedenen internationalen Studien erfasst wurden. Aufgrund der Fülle an Literatur können an dieser Stelle nicht alle Untersuchungen aufgelistet werden, weshalb auf eine zeitliche und geographische Streuung geachtet wurde. Da die Relevanz dieses Themas in den letzten Jahren auch in der Schule zunahm, sollen aber vor allem aktuelle Studien genannt werden.

Bereits zur Existenz des Klimawandels und der globalen Erwärmung gibt es unterschiedliche Vorstellungen. Grundsätzlich lässt sich aber feststellen, dass die Mehrheit der Schüler*innen glaubt, dass die globale Erwärmung existiert. In einer Studie aus Indien wurden beispielsweise Schüler*innen der 12. Schulstufe zu ihrer Einstellung zum Klimawandel befragt und es stellte sich heraus, dass 90 % der Befragten glauben, dass dieser existiert und derzeit stattfindet. Außerdem gaben 82 % an, sehr besorgt

oder besorgt über den Klimawandel zu sein. (vgl. Chhokar, Dua, Taylor, Boyes, & Stanisstreet, 2012, S. 133-140)

Skamp et al. (2013) fanden in einer Befragung von circa 1200 Oberstufenschüler*innen aus Australien und Großbritannien heraus, dass nur etwa die Hälfte glaubte, über den Klimawandel gut informiert zu sein (vgl. Skamp, Boyes, & Stanisstreet, 2013, S. 207).

2.5.1 Treibhauseffekt

Die wohl größte Anzahl an alternativen Vorstellungen findet man zum Treibhauseffekt, da dieser ein komplexes Phänomen ist und Lernende oft Schwierigkeiten haben, diesen vollständig zu verstehen.

Koulaidis und Christidou (1999) befragten griechische Schüler*innen (11-12 Jahre) zum Thema Treibhauseffekt und arbeiteten aus deren Antworten eine Reihe von Modellen heraus. 27,5 % der Befragten beschreiben, dass Kohlendioxid bzw. Methan durch natürliche und anthropogene Quellen in die Atmosphäre eingebracht wird und dort in einer bestimmten Höhe eine Schicht bildet, die Sonnen- und Wärmestrahlung durchlässt und die Erdoberfläche und die darüber liegende Atmosphäre aufwärmt. Die Wärme kann jedoch durch die Gasschicht nicht mehr entweichen, die dieselbe Funktion wie das Glas in einem Gewächshaus hat. Im zweiten Modell (von 15 % der Befragten genannt) wird die Ozonschicht mit der vorher beschriebenen Schicht in einem System verbunden. Die Gasschicht aus CO₂ bzw. Methan ist in derselben Höhe wie die Ozonschicht angesiedelt, wobei ultraviolette Strahlung durch die Ozonlöcher eintritt und in Form von Hitze in der Gasschicht gefangen wird. Dadurch steigt die Temperatur auf der Erde. Das dritte Modell (12,5 %) erklärt den Treibhauseffekt als in der Atmosphäre gleichmäßig angesiedelte Gase, die Wärmestrahlung von der Sonne absorbieren. In einem weiteren Modell wird als Grund für den Klimawandel der Abbau von Ozon angegeben, wodurch mehr ultraviolette Strahlung durch die Ozonlöcher auf die Erde gelangt, welche von der Erdoberfläche reflektiert und von der Ozonschicht abermals zurückgestrahlt wird und so nahe der Erdoberfläche bleibt. Im Modell, welches von den meisten Befragten formuliert wurde (37,5 %), wird der Treibhauseffekt als eine Form der Luftverschmutzung beschrieben. Die Menschen bringen

verschiedene Gase (hauptsächlich Kohlendioxid, Methan und FCKW) in die Atmosphäre ein und verschmutzen diese, was Auswirkungen auf Lebewesen und Pflanzen hat. (vgl. Koulaidis & Christidou, 1999)

Andersson und Wallin (2000) ermittelten bei einer Befragung von schwedischen Schüler*innen zwischen 15 und 19 Jahren ebenfalls unterschiedliche Modelle zum Treibhauseffekt (Abb. 10). Während einige Schüler*innen den Treibhauseffekt als Barriere in der Atmosphäre beschreiben (Model 1), beziehen andere Lernende eine bestimmte Einstrahlung durch diese Barriere mit ein (Model 2), welche von wieder anderen um eine Rückstrahlung erweitert wird (Model 3). Model 4 zeigt einfallende und von dieser Barriere reflektierte Strahlung, wobei nicht in der Stärke der Strahlung differenziert wird. Model 5 zeigt schlussendlich die Unterschiede in der Strahlungsstärke der einfallenden und reflektierenden Strahlung. (vgl. Andersson & Wallin, 2000, S. 1107)

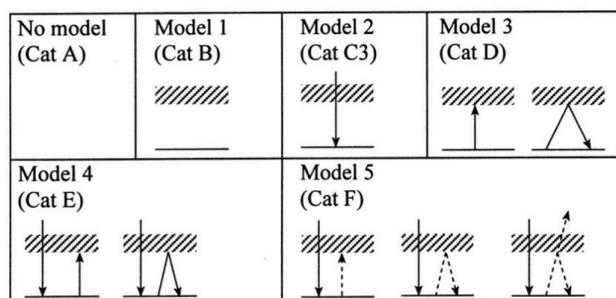


Abbildung 11: Modelle zur Beschreibungen des Treibhauseffektes von Schüler*innen (Andersson & Wallin 2000, S. 1103)

Die qualitative Studie von Shepardson et al. (2011) ergab ähnliche Ergebnisse wie die zuvor genannten Untersuchungen. Von den Befragten wurde größtenteils angegeben, dass die globale Erwärmung durch Luftverschmutzung, genauer Treibhausgase wie Kohlendioxid verursacht wird. Außerdem wurde beschrieben, dass Kohlendioxid und andere Treibhausgase eine Schicht in der Atmosphäre bilden, welche die Sonnenenergie einfängt und reflektiert. Im Gegensatz zu anderen Studien, stellten die meisten Befragten jedoch keine Verbindung zwischen dem Ozonloch und der globalen Erderwärmung her, was Shepardson et al. (2011, S.495) darauf zurückführen, dass Schüler*innen die beiden Phänomene zunehmend klarer differenzieren können. Allerdings zeigt sich auch hier, dass Schüler*innen grundsätzlich Schwierigkeiten haben, den Treibhauseffekt und die damit verbundenen chemischen und biologischen Prozesse genau zu beschreiben.

Die Verschmelzung von Ozonloch und Treibhauseffekt ist eine sehr hartnäckige Schülervorstellung, die in vielen Studien (u.a. Boyes & Stanisstreet, 1997; Andersson & Wallin, 2000; Daniel, Stanisstreet, & Boyes, 2004; Österlind, 2005; Mower, 2012; Dawson & Carson, 2013; Chang, Pascua, & Ess, 2018; Jarrett & Takacs, 2020) beobachtet wurde. Chang et al. (2018) stellten fest, dass viele Schüler*innen glauben, dass der Treibhauseffekt vorwiegend in der Ozonschicht stattfindet und dass Hitze, welche von der Erde abgegeben wird, zum größten Teil in der Ozonschicht absorbiert wird. (vgl. Chang, Pascua, & Ess, 2018, S. 4). Jarrett und Takacs (2020) nannten die Verknüpfung von Ozonverminderung und Klimawandel als eine der am meisten gefundenen Vorstellungen zu diesem Thema. Sie argumentieren, dass Lernende die Vorstellung haben, mehr ultraviolette Strahlung erhöhe die direkte Sonnenenergie in Richtung Erde, was zum Erhitzen der Erdoberfläche führt. Die Erfahrung der Schüler*innen, dass Sonnenstrahlung ‚heiß‘ ist, kann dabei mit neuen Informationen kollidieren, was in einer hybriden Vorstellung resultieren kann: Das zusätzliche Sonnenlicht bzw. die zusätzliche ultraviolette Strahlung, die durch das ‚Loch‘ in der Ozonschicht kommt, erwärmt laut Schüler*innen den Planeten. (vgl. Jarrett & Takacs, 2020, S. 409)

Außerdem unterscheiden viele Lernende nicht zwischen den verschiedenen Typen von Sonnenstrahlung und benennen diese allgemein als „ultraviolette Strahlung“, „Sonnenstrahlen“, „Hitzestrahlung“ oder nur „Hitze“ (vgl. Boyes & Stanisstreet, 1997; Koulaidis & Christidou, 1999; Österlind, 2005).

Eine weitere verbreitete Schülervorstellung ist jene, den Treibhauseffekt als ein ausschließlich negatives Phänomen anzusehen. Viele Schüler*innen unterscheiden nicht zwischen dem natürlichen und dem anthropogenen Treibhauseffekt und verbinden diesen zumeist nur mit dem Klimawandel bzw. globaler Erwärmung. Chang und Pascua (2016) ermittelten beispielsweise bei ihrer Befragung von Schüler*innen (Schulstufe 9) aus Singapur, dass nur circa 10 % der Befragten den natürlichen Treibhauseffekt als einen für den Planeten essenziellen Prozess ansahen, der das Leben auf der Erde erst möglich macht. Die Mehrheit der Jugendlichen konnte nicht zwischen dem natürlichen und dem anthropogenen Treibhauseffekt differenzieren. (vgl. Chang & Pascua, 2016, S. 88)

2.5.2 Treibhausgase

Es gibt verschiedene Schülervorstellungen zu Art, Anzahl und Funktion von Treibhausgasen, die in mehreren Studien (u.a. Koulaidis & Christidou, 1999; Shepardson, Niyogi, Choi, & Charusombat, 2011; Niebert & Gropengießer, 2014; Chang, Pascua, & Ess, 2018; Jarrett & Takacs, 2020) untersucht wurden. Eine Analyse dieser Untersuchungen zeigt, dass das Bewusstsein über das Vorhandensein von Treibhausgasen bei Lernenden stark variiert. Der Mehrheit der Lernenden ist laut Daniel et al. (2014) die Vielzahl an Treibhausgasen gar nicht bewusst. Meist nennen Schüler*innen nur Kohlendioxid und/oder Methan als Treibhausgase (u.a. Koulaidis & Christidou, 1999; Shepardson, Niyogi, Choi, & Charusombat, 2011; Niebert & Gropengießer, 2014; Chang, Pascua, & Ess, 2018; Jarrett & Takacs, 2020). Die Rolle von Wasserdampf im Klimasystem wird von Lernenden weitgehend vernachlässigt. Chang et al. (2018) stellen anhand ihrer Studie zwei tiefsitzende Schülervorstellungen vor: Lernende glauben meist, dass Wasserdampf kein Treibhausgas ist und dass er die Atmosphäre bzw. Erdoberfläche kühlt und nicht erwärmt. Jarrett und Takacs (2020) gehen darauf in ihrer Studie genauer ein. Nur 11 % der über 200 befragten Schüler*innen identifizierten Wasserdampf als das am meisten vorkommende, natürliche Treibhausgas, 80 % ordneten Wasserdampf nicht als Treibhausgas ein. Das fehlende Verständnis von Wasserdampf als natürliches Treibhausgas führe zu unvollständigen Feedbackmechanismen und infolge zur möglichen Akzeptanz von ‚klima-skeptischen‘ Argumenten basierend auf der geringen Konzentration von CO₂ gegenüber Wasserdampf. Im Gegensatz dazu identifizierten 70 % der Befragten Kohlenmonoxid als Treibhausgas, was Jarrett und Takacs (2020) darauf zurückführen, dass diese Schüler*innen eher ein allgemeines Konzept von Luftverschmutzung als genaues Wissen über die zugrundeliegenden chemischen Prozesse haben. (vgl. Jarrett & Takacs, 2020, S. 414f.)

2.5.3 Folgen des Klimawandels

Die Befragten von Koulaidis und Christidou (1999) beschrieben allgemein, dass das Klima sich durch Verschmutzung erwärme, die Luft schlecht rieche, das Wetter sich verändere und klimatische Phänomene wie Stürme und Überflutungen auftreten würden. (vgl. Koulaidis & Christidou, 1999, S. 559-568)

Shepardson et al. (2011) finden in ihrer Studie allerdings heraus, dass einige Schüler*innen die globale Erderwärmung und den Klimawandel gar nicht mit ihrem täglichen Leben verbinden und sie nicht glauben, dass der Klimawandel einen großen Einfluss auf die Gesellschaft hat bzw. haben wird. Die Menschen würden neue Technologien entwickeln bzw. neue Wege finden, um sich den Folgen des Klimawandels anzupassen. Andere Schüler*innen beschreiben wiederum sehr wohl schwerwiegende Folgen für den Menschen und seine Umwelt wie Überflutungen, Hitzewellen und Dürren mit dem Resultat einer schwindenden Zahl an Lebewesen und Pflanzen. Die meisten Lernenden berücksichtigen allerdings den Einfluss des Klimawandels auf die komplexe Wechselbeziehung zwischen Tier- und Pflanzenwelt nicht. Die Folgen für die Landwirtschaft wurden nicht erwähnt, die Lernenden fokussierten sich auf ‚wilde‘ Tiere und Pflanzen. Es wurde jedoch ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Zunahme an atmosphärischem Kohlendioxid und Verkehr sowie Fabriken hergestellt. Des Weiteren wurden der Anstieg des Meeresspiegels aufgrund von schmelzenden Polkappen und erhöhtem Niederschlag und die Temperaturzunahme der Ozeane als Folgen des Klimawandels beschrieben. (vgl. Shepardson et al., 2011, S. 497-498)

Schreiner et al. (2005, S.36) behaupten, dass viele Schüler*innen keine Hoffnungen für die Zukunft haben und kaum Möglichkeiten sehen, den Klimawandel und die globale Entwicklung zu beeinflussen. Der Schutz der Umwelt sei aber trotzdem wichtig für die Jugendlichen und wird als von der Gesellschaft zu erreichendes Ziel angesehen. Allerdings stellen sie fest, dass sich das Interesse am Klimawandel bei den Schüler*innen in Grenzen hält.

2.5.4 Einfluss der Menschen auf den Klimawandel

Die Analyse mehrerer Studien (u.a. Andersson & Wallin, 2000; Daniel, Stanisstreet, & Boyes, 2004; Kilinc, Boyes, & Stanisstreet, 2011; Skamp, Boyes, & Stanisstreet, 2013) zu Schülervorstellungen zum Einfluss des Menschen auf den Klimawandel zeigt eine Vielzahl von unterschiedlichen Ideen und Vorstellungen, mit welchen Veränderungen der Gesellschaft und des täglichen Lebens der Klimawandel eingebremst werden kann.

Daniel et al. (2004) fanden beispielsweise in ihrer auf Fragebögen basierenden Studie heraus, dass für die befragten britischen Schüler*innen (Schuljahre 7 und 9) vor allem

die Verminderung von Industrie- und Fahrzeugemissionen und die Nutzung von erneuerbaren Energiequellen (Wind-, Sonnen- und Wellenenergie) eine große Rolle für die Einbremsung des Klimawandels spielen. Letzteres wurde vorwiegend von älteren Schüler*innen erwähnt. Außerdem wurden die reduzierte Verwendung von Öl und Kohle (65 % der Befragten), das Pflanzen von mehr Bäumen (64 %) sowie die eingeschränkte Nutzung von Flugzeugen (rund 50 %) oft genannt. Die Handlungen von einzelnen Individuen wie ‚Energiesparen‘ und Recycling wurden von weniger Schüler*innen als entscheidend empfunden (vgl. Daniel, et al., 2004, S. 214-216). Die Autoren schlussfolgern: “[this is] perhaps suggesting that young people feel disempowered about this issue” (Daniel, Stanisstreet, & Boyes, 2004, S. 211).

Skamp et al. (2013) haben in ihrer Studie gezeigt, dass Schüler*innen aus unterschiedlichen Ländern sehr ähnliche Auffassungen haben, welche Veränderungen in ihrem Alltag einen positiven Einfluss auf den Klimawandel haben können. In ihrer Studie wurden australische und englische Oberstufenschüler*innen zu ihren Vorstellungen und ihrer Bereitschaft für Veränderungen im Alltag hinsichtlich der globalen Erwärmung befragt. Skamp et al. (2013) vermuteten, dass Schüler*innen sehr wahrscheinlich die Bedeutung vieler Aspekte des täglichen Lebens für die globale Erwärmung gar nicht kennen. Die zugehörigen Vorstellungen hängen dabei stark vom wissenschaftlichen Verständnis darüber ab, welche Aspekte des täglichen Lebens den Klimawandel verstärken bzw. vermindern können. Sie erwähnen hier angelehnt an Boon (2009) vor allem das Pflanzen von Bäumen, das Nutzen von alternativen erneuerbaren Energiequellen und das Isolieren von Gebäuden als häufig genannte Möglichkeiten zur Reduktion von Treibhausgasen und den Verkehr bzw. motorisierte Fahrzeuge als größten, Emissionen ausstoßenden Faktor des Schüler*innenalltags. Die Studie ergab, dass für die Schüler*innen sehr unterschiedliche Aspekte des täglichen Lebens besonders relevant sind. Circa zwei Drittel der Befragten vermerkten öffentliche Transportmittel, erneuerbare Energiequellen, mehr Bäume, kleinere Autos und weniger häuslichen Energieverbrauch als wichtigste ‚klimawandelreduzierende‘ Faktoren. Ein Drittel der Befragten fokussierte sich eher auf Recycling, Atomenergie, energieeffiziente Haushaltsgeräte, Isolierung von Gebäuden und düngemittelfreie Lebensmittel. Auffallend ist, dass nur etwa ein Fünftel der Befragten den eingeschränkten Kauf von neuen Gebrauchsgegenständen und den verminderten Konsum von Fleisch als besonders wichtige Aspekte zur Reduzierung der von Menschen produzierten Treibhausgase nannten. Dies wird von Skamp et al. (2013) darauf zurückgeführt, dass vielen

Schüler*innen nur Kohlendioxid als Treibhausgas bekannt ist und sie das durch die Tierhaltung produzierte Methan und die durch Düngemittel freigesetzten Stickstoffoxide nicht in Zusammenhang mit der globalen Erderwärmung bringen. (vgl. Skamp, Boyes, & Stanisstreet, 2013, S. 195-207)

Dieses Kapitel veranschaulicht, wie zahlreich und breit gefächert Schülervorstellungen sein können. Lernende jeden Alters haben unterschiedliche Ideen und Vorstellungen zur Entstehung und zu den Folgen des Klimawandels, sowie zu Maßnahmen für die Einbremsung der globalen Erwärmung. Es konnte mittels Analyse von mehreren internationalen Studien festgestellt werden, dass es für viele Schüler*innen auch heutzutage immer noch schwierig ist, die chemischen Prozesse des Treibhauseffektes von anderen klimatischen Phänomenen zu differenzieren und diese zu erklären. Es ist also essenziell für einen erfolgreichen Unterricht, die bestehenden Vorstellungen der zu unterrichtenden Schüler*innen in Erfahrung zu bringen, um an diese anzuknüpfen und sie gegebenenfalls zu verändern und zu erweitern.

EMPIRISCHER TEIL

3. Untersuchungsdesign

Zur Erhebung der Schülervorstellungen stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung, unter anderem Fragebögen, Concept Maps und Interviews (siehe Kapitel 2.2). Bei der Forschung, welche im Zuge dieser Arbeit durchgeführt wurde, konnte nicht direkt mit Schüler*innen gearbeitet werden, da es aus Covid-19-technischen und organisatorischen Gründen nicht möglich war, unterschiedliche Klassen bzw. Schulen zu besuchen. Die Daten mussten also in Schulklassen gesammelt werden, die von anderen Lehrkräften unterrichtet wurden. Als Untersuchungsmethode wurde ein zweiteiliger Fragebogen gewählt, da dieser sehr einfach an verschiedene Schüler*innen bzw. Lehrer*innen geschickt werden kann und ohne Beisein der Forschenden ausgefüllt werden kann. Dieser ist vollständig im Anhang zu finden.

3.1 Fragebogen

Der erste Teil des Fragebogens besteht neben allgemeinen Informationen zu der*em befragten Schüler*in eine Auswahl an Fragen zum Klimawandel und zur Klimaproblematik mit besonderem Augenmerk auf die im Chemieunterricht vorwiegend behandelten Themen.

Der Fragebogen wurde an den Test „*Force Concept Inventory*“ von Hestenes, Wells und Swackhamer (1992) angelehnt. Es handelt sich dabei um Multiple-Choice Fragen, wobei eine von vier Antwortmöglichkeiten die korrekte Lösung ist (Attraktor) und die anderen drei Antwortmöglichkeiten andere, bereits bekannte Schülervorstellungen darstellen (Distraktoren). Die Fragen wurden anhand der Fragebögen der Arbeiten von Mauthner (2010) und Franz (2017) sowie der Assessment Reports der IPCC (2007, 2013) und der in der Literatur gesammelten Schülervorstellungen (Kapitel 2.5) konzipiert. Das gewählte Format (Multiple-Choice) ermöglichte sowohl für die Schüler*innen eine relativ schnelle Beantwortung der Fragen, als auch eine einfache und eindeutige Auswertung der Antworten. Es ist hierbei anzumerken, dass Multiple-Choice Fragen weniger Spielraum in der Beantwortung der Fragen lassen als beispielsweise offene Fragen, was die Forschungsergebnisse verfälschen kann. Da diese Forschungsarbeit aber auf bereits vorhandenen Schülervorstellungen beruht

und auf einen Vergleich verschiedener Schulstufen abzielt, wurden im ersten Teil des Fragebogens hauptsächlich Multiple-Choice-Fragen verwendet.

Um ein umfassenderes Bild der Ideen und Vorstellungen der Schüler*innen über die Auswirkungen des Klimawandels und den Einfluss der Menschen auf das Klima zu gewinnen, wurden noch zwei offene Fragen ohne vorgegebene Antwortmöglichkeiten hinzugefügt, wodurch den Befragten mehr Freiheit in der Beantwortung gelassen wurde. Dabei wurden die Schüler*innen gebeten jeweils drei Aspekte zu nennen, die in der vorgegebenen Fragestellung für sie persönlich relevant sind.

Im zweiten Teil des Fragebogens wurden Interesse und Relevanz der Thematik für die Lernenden, Einschätzung des eigenen Wissens sowie Informationsquellen in und außerhalb der Schule erfragt. Um Daten zu den persönlichen Einstellungen der Schüler*innen zum Klimawandel zu erhalten, wurde das Format der Likert-Skala nach Rensis Likert verwendet. Diese besteht aus mehreren Items bzw. Aussagen (wie beispielsweise *„Mein Interesse an der Klimaproblematik ist sehr groß“*), denen die Befragten mithilfe einer vorgegebenen mehrstufigen Antwortskala zustimmen oder diese ablehnen sollten. Die Antwortskala besteht in diesem Fragebogen aus vier Auswahlmöglichkeiten (*„trifft nicht zu“*, *„trifft eher nicht zu“*, *„trifft eher zu“* und *„trifft zu“*), wobei die Anzahl bewusst gewählt wurde, um keine mittlere, neutrale Antwortmöglichkeit zu bieten und die Lernenden so zu einer Entscheidung hin zu einer Seite bzw. negativen oder positiven Tendenz zu leiten.

Mithilfe von Multiple-Choice-Fragen wurde ermittelt, woher die Lernenden ihre Informationen zu diesem Thema beziehen und in welchen Fächern sie den Klimawandel in der Schule bearbeitet haben. Zusätzlich sollten die Schüler*innen angeben, wie sie das Thema im Chemieunterricht behandeln wollen und welche Aspekte der Klimaproblematik ihrer Meinung nach unbedingt besprochen werden sollten. Dies wurde mit Multiple-Choice, sowie offenen Fragen ermittelt.

4. Durchführung

Der Fragebogen wurde online mittels Microsoft Forms erstellt und an verschiedene Lehrkräfte des Unterrichtsfaches Chemie geschickt. Der Fragebogen wurde im Zeitraum von 28.05.2021 bis 17.06.2021 von Jugendlichen aus zwei Wiener Gymnasien (GRG12 Erlgasse und BG9 Wasagasse) ausgefüllt. Die Befragung richtete sich an

Jugendliche der achten und elften Schulstufe im Alter von circa 13 und circa 17 Jahren. Das Ausfüllen des Fragebogens durch die Schüler*innen erfolgte freiwillig, anonym und in Anwesenheit der jeweiligen Lehrkraft, um etwaige Fragen beantworten zu können. Der Fragebogen wurde von 104 Schüler*innen beantwortet, 55 davon besuchten die achte Schulstufe und 49 Schüler*innen besuchten zum Zeitpunkt der Befragung die elfte Schulstufe.

5. Auswertungsverfahren und Forschungsfragen

Der erste Teil des Fragebogens sollte folgende Forschungsfragen beantworten:

Fragestellung I: Welche Vorstellungen haben Schüler*innen der Sekundarstufe I & II vom globalen Klimawandel?

Fragestellung II: Wie unterscheiden sich diese Vorstellungen in den verschiedenen Schulstufen?

Nach der Datenerhebung wurden die einzelnen Fragen gesondert untersucht und die Art und Anzahl der Antworten von Schüler*innen der Schulstufen 8 und 11 miteinander verglichen. Die Rückmeldungen auf die beiden offenen Fragen am Ende des ersten Fragebogenteils wurden nach der Erhebung in Kategorien eingeteilt und die beiden Schulstufen wieder miteinander verglichen.

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe von Microsoft Excel und SPSS. Um die Ergebnisse der beiden Schulstufen sinnvoll vergleichen zu können, wurde der t-Test für unabhängige Stichproben angewandt, wobei eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% angenommen wurde.

Für die Analyse der Antworten des zweiten Fragebogenteils wurde ebenfalls statistische Methoden (Excel und SPSS) verwendet, um folgende Fragestellungen zu untersuchen:

Fragestellung III: Welches Interesse besteht auf Seiten der Lernenden, das Thema des globalen Klimawandels im Chemieunterricht (v.a. in der Sekundarstufe II) näher zu behandeln?

Fragestellung IV: Woher bekommen die Lernenden ihre Informationen (Schule, Internet, soziale Medien etc.)? Welche Relevanz hat hierbei der Chemieunterricht?

Fragestellung V: Wie möchten die Lernenden die Thematik im Chemieunterricht behandelt wissen?

Bei der Analyse des Fragebogens wurde vor allem auf schulstufenspezifische Unterschiede in den Antworten geachtet.

Da die Untersuchungsergebnisse anonym sind, wurden von den Befragten nur allgemeine Daten angegeben. Um im Zuge der Analyse und Diskussion zwischen den Schüler*innen unterscheiden zu können wurden die Antworten codiert. Der verwendete Code setzt sich aus zwei Teilen zusammen: Zuerst erfolgt eine Differenzierung zwischen Sekundarstufe I & II (U oder O), danach folgt eine Zahl, welche die zeitliche Reihenfolge der abgegebenen Fragebögen angibt. Die Antworten der Schüler*innen der Sekundarstufe I erhielten den Code U (Unterstufenschüler*innen), die Antworten der Sekundarstufe II wurden mit dem Code O (Oberstufenschüler*innen) versehen.

Beispiele: Der*die Schüler*in der 8. Schulstufe, welche*r den Fragebogen als Erste*r ausgefüllt abgegeben hat, erhält den Code U1 (Unterstufenschüler*in + Reihung 1 in der zeitlichen Abfolge). Der*die letzte Lernende der 11. Schulstufe erhält den Code O49 (Oberstufenschüler*in + Reihung 49 in der zeitlichen Abfolge).

6. Untersuchungsergebnisse

In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse der Fragebogenanalyse dargelegt werden. Die Antworten der Schüler*innen werden im Folgenden gesammelt wiedergegeben, mit dem Ziel, die Forschungsfragen zu beantworten. Dabei wird vor allem auf die Differenzierung zwischen den befragten Schulstufen geachtet.

6.1 Zusammenfassung des ersten Teils des Fragebogens

Tabelle 2: Allgemeine Informationen zu den befragten Lernenden

Schulstufe	Anzahl SuS	Männlich	Weiblich	Nicht-binär
8	55	32	21	2
11	49	21	28	0

Fragestellung I: Welche Vorstellungen haben Schüler*innen der Sekundarstufe I & II vom globalen Klimawandel?

Über die Hälfte der Lernenden gab dabei an, das Thema Klimawandel im Chemieunterricht zwar schon bearbeitet zu haben, jedoch nicht sehr ausführlich. 22 % der Unterstufenschüler*innen und 31 % der Oberstufenschüler*innen meinten, sie hätten das Thema noch gar nicht besprochen.

6.1.1 Multiple Choice-Fragen

Bei den nachfolgenden Multiple-Choice-Fragen sollten die Lernenden eine vor vier Antwortmöglichkeiten auswählen, die ihrer Meinung nach am ehesten zutrifft. Die unten angeführten, errechneten Prozentzahlen in den Tabellen wurden gerundet.

Woher wissen wir, dass sich die Erde erwärmt?

Mit einer Anzahl von 45 Schüler*innen (82 %) gab die Mehrheit der Lernenden der vierten Klasse an, dass Messungen, Klimamodelle und Analyse des Klimas der vergangenen Jahrhunderte darauf hinweisen, dass sich die Erde erwärmt. Weitere 10 Lernende (18 %) nannten immer heißer werdende Sommermonate als den größten Indikator für die Erderwärmung. Kein*e Schüler*in der Unterstufe wählte die Option „durch Klima-Experimente in Laboren“ oder „Es wird zwar von Wissenschaftler*innen behauptet, aber wir wissen es nicht genau“.

Die Antworten der 49 befragten Oberstufenschüler*innen sehen ähnlich aus. Auch hier wählten 45 Schüler*innen (92 %) die Antwort „Durch Messungen, Klimamodelle und Analyse des Klimas der vergangenen Jahrhunderte“ und 4 Lernende (8 %) antworteten mit „Durch immer heißer werdende Sommermonate“. Die anderen beiden Antwortmöglichkeiten wurden von niemandem ausgewählt.

Tabelle 3: Zusammenfassung Ergebnisse Frage 1

F1 Woher wissen wir, dass sich die Erde erwärmt?	Anzahl	% (N =	Anzahl	% (N =
	Sek I	55)	Sek II	49)
Durch immer heißer werdende Sommermonate	10	18%	4	8%
Durch Messungen, Klimamodelle und Analyse des Klimas der vergangenen Jahrhunderte	45	82%	45	92%

Durch Klima-Experimente in Laboren	0	0%	0	0%
Es wird von Wissenschaftler*innen behauptet, aber wir wissen es nicht genau.	0	0%	0	0%
keine Angabe	0	0%	0	0%

Wie tragen menschliche Aktivitäten zum Klimawandel bei?

Diese Frage beantworteten 52 der 55 Unterstufenschüler*innen (95 %) damit, dass der Mensch einen großen Einfluss auf die Erderwärmung durch verschiedene Aspekte, wie die Verbrennung von fossilen Brennstoffen, die Abholzung der Regenwälder uvm., hat. Jeweils ein*e Lernende*r (2 %) wählte eine der drei anderen Auswahlmöglichkeiten: „Der Mensch hat keinen Einfluss auf die Erderwärmung“, „Der Mensch hat nur einen geringen Einfluss auf die Erderwärmung, da die Industrie mittlerweile sehr darauf achtet, Abgase zu reduzieren“ und „Der Mensch beeinflusst die Erderwärmung in gleichem Maß wie natürliche Faktoren“.

Die eindeutige Mehrheit der Oberstufenschüler*innen (46 von 49; 94 %) wählte ebenfalls die erstgenannte Antwort. Drei der befragten Schüler*innen der achten Schulstufe (6 %) wählten als Antwort, dass der Mensch die Erderwärmung in gleichem Maße beeinflusse wie natürliche Faktoren.

Tabelle 4: Zusammenfassung Ergebnisse Frage 2

F2 Wie tragen menschliche Aktivitäten zum Klimawandel bei?	Anzahl Sek I	% (N = 55)	Anzahl Sek II	% (N = 49)
Der Mensch hat keinen Einfluss auf die Erderwärmung.	1	2%	0	0%
Der Mensch hat nur einen geringen Einfluss auf die Erderwärmung, da die Industrie mittlerweile sehr darauf achtet, Abgase zu reduzieren.	1	2%	0	0%
Der Mensch beeinflusst die Erderwärmung in gleichem Maß wie natürliche Faktoren.	1	2%	3	6%
Der Mensch hat einen großen Einfluss auf die Erderwärmung durch verschiedene Aspekte wie die Verbrennung von fossilen Brennstoffen, die Abholzung der Regenwälder, ...	52	95%	46	94%
keine Angabe	0	0%	0	0%

Ist der gegenwärtige Klimawandel ungewöhnlich, verglichen mit früheren Änderungen in der Erdgeschichte?

Keine der Schüler*innen beider Schulstufen wählten als Antwort aus, dass der Klimawandel gar nicht ungewöhnlich sei und dass die Menschen diesen nur dramatisieren. Sieben von 55 Unterstufenschüler*innen (13 %) und eine der 49 Oberstufenschüler*innen (2 %) entschieden sich für die Antwortmöglichkeit „NEIN, ist nicht ungewöhnlich, da es in der Vergangenheit auch schon solche rasanten Klimaveränderungen gab“. Drei Viertel der der Schüler*innen zwischen 13 und 15 Jahren (42 von 55; 76 %) und fast alle Schüler*innen zwischen 16 und 17 Jahren (45 von 49; 92 %) wählten die folgende Antwortmöglichkeit aus: „JA, ist ungewöhnlich, da es zwar in der Vergangenheit auch schon Klimaveränderungen gab, aber diese nicht vergleichbar sind mit der Geschwindigkeit der derzeit stattfindenden Veränderungen“. Die letzte Antwortmöglichkeit („JA, ist ungewöhnlich, da es in der Vergangenheit nur Eiszeiten gab und keine globale Erderwärmung“) wurde von vier Lernenden der Schulstufe 8 (7 %) und drei Lernenden der Schulstufe 11 (6 %) selektiert. Zwei Unterstufenschüler*innen (2 %) wählten bei dieser Frage keine Antwort aus.

Tabelle 5: Zusammenfassung Ergebnisse Frage 3

F3 Ist der gegenwärtige Klimawandel ungewöhnlich, verglichen mit früheren Änderungen in der Erdgeschichte?	Anzahl Sek I	% (N = 55)	Anzahl Sek II	% (N = 49)
NEIN, ist gar nicht ungewöhnlich, die Menschen dramatisieren das nur.	0	0%	0	0%
NEIN, ist nicht ungewöhnlich, da es in der Vergangenheit auch schon solche rasanten Klimaveränderungen gab.	7	13%	1	2%
JA, ist ungewöhnlich, da es zwar in der Vergangenheit auch schon Klimaveränderungen gab, aber diese nicht vergleichbar sind mit der Geschwindigkeit der derzeit stattfindenden Veränderungen.	42	76%	45	92%
JA, ist ungewöhnlich, da es in der Vergangenheit nur Eiszeiten gab und keine globale Erderwärmung.	4	7%	3	6%
keine Angabe	2	4%	0	0%

Was versteht man unter dem Treibhauseffekt?

Von 55 Schüler*innen der 8. Schulstufe definierten 13 (24 %) den Treibhauseffekt als Effekt, der auf Treibhausgase zurückzuführen ist, welche die Ozonschicht zerstören, wodurch mehr UV-Strahlung aus dem Weltall auf die Erde trifft und diese so erwärmt

wird. 17 Schüler*innen (31 %) wählten eine weitere Antwortmöglichkeit, die sich auf die Ozonschicht bezieht: „Die Strahlung der Sonne, die auf die Erde trifft, wird dort teilweise reflektiert und sollte wieder zurück ins Weltall gelangen. Die Ozonschicht reflektiert die von der Erde abgegebene Strahlung aber wieder zurück auf die Erde und so erwärmt sie sich.“ Die richtige Antwort wurde von 21 der 55 befragten Lernenden der Schulstufe 8 (38 %) ausgewählt: „Die Strahlung der Sonne, die auf die Erde trifft, wird dort teilweise reflektiert und sollte wieder zurück ins Weltall gelangen. Die Treibhausgase in der Atmosphäre nehmen einen Teil dieser Strahlung auf und geben diese wieder an ihre Umgebung ab. Dadurch steigt die Temperatur der Atmosphäre bzw. der Erde.“ Die restlichen vier Schüler*innen (7 %) entschieden sich für die Definition des Treibhauseffekts als Produktion von Treibhausgasen.

Die Antwortmöglichkeiten, welche sich auf die Ozonschicht beziehen, wurden von der Mehrheit der Schüler*innen der 11. Schulstufe ausgewählt. Eine Schülerin (2 %) entschied sich für die erstgenannte Antwortmöglichkeit, während 27 weitere Lernende (55 %) angaben, dass im Zuge des Treibhauseffekts die Ozonschicht die von der Erde abgegebene Strahlung reflektiert. Nur 21 der befragten Oberstufenschüler*innen (43 %) wählten die richtige Antwort. Kein*e Lernende*r definierte den Treibhauseffekt als Produktion von Treibhausgasen.

Tabelle 6: Zusammenfassung Ergebnisse Frage 4

F4 Was versteht man unter dem Treibhauseffekt?	Anzahl Sek I	% (N = 55)	Anzahl Sek II	% (N = 49)
Treibhausgase zerstören die Ozonschicht, wodurch mehr UV-Strahlung aus dem Weltall auf die Erde trifft und diese so erwärmt wird.	13	24%	1	2%
Die Strahlung der Sonne, die auf die Erde trifft, wird dort teilweise reflektiert und sollte wieder zurück ins Weltall gelangen. Die Ozonschicht reflektiert die von der Erde abgegebene Strahlung aber wieder zurück auf die Erde und so erwärmt sie sich.	17	31%	27	55%
Die Strahlung der Sonne, die auf die Erde trifft, wird dort teilweise reflektiert und sollte wieder zurück ins Weltall gelangen. Die Treibhausgase in der Atmosphäre nehmen einen Teil dieser Strahlung auf und geben diese wieder an ihre Umgebung ab. Dadurch steigt die Temperatur der Atmosphäre bzw. der Erde.	21	38%	21	43%
Der Treibhauseffekt ist die Produktion von Treibhausgasen.	4	7%	0	0%
keine Angabe	0	0%	0	0%

Welche Aussage zum Treibhauseffekt trifft zu? Gäbe es den Treibhauseffekt nicht...

Die Antworten der Unterstufenschüler*innen sind sehr ausgewogen: Mehr als ein Drittel der Schüler*innen (21 von 55; 38%) Schüler*innen gaben an, dass das Leben auf der Erde ohne Treibhauseffekt nicht möglich wäre. Weitere 19 Lernende (35 %) stellten fest, dass man ohne Treibhauseffekt kein Problem mit dem Klima hätte. Dass es am Nord- und Südpol wärmer und am Äquator kälter werden würde, wählten 11 der befragten 55 Schüler*innen (20 %) und vier Lernende (7 %) entschieden sich dafür, dass es mehr Artenvielfalt geben würde.

Die Mehrheit der Lernenden der 11. Schulstufe (37 von 49; 76 %) wählten die Antwortmöglichkeit „... wäre Leben auf der Erde nicht möglich“ aus. Sieben Schüler*innen (14 %) entschieden sich für „... hätten wir kein Problem mit dem Klima“, für zwei Lernende (4 %) fiel die Wahl auf „... wäre es am Nord- und Südpol wärmer und am Äquator kälter“ und drei Schüler*innen (6 %) beantworteten die Frage mit „... würde es mehr Artenvielfalt geben“.

Tabelle 7: Zusammenfassung Ergebnisse Frage 5

F5 Welche Aussage zum Treibhauseffekt trifft zu? Gäbe es den Treibhauseffekt nicht...	Anzahl Sek I	% (N = 55)	Anzahl Sek II	% (N = 49)
... wäre Leben auf der Erde nicht möglich.	21	38%	37	76%
... hätten wir kein Problem mit dem Klima.	19	35%	7	14%
... wäre es am Nord- und Südpol wärmer und am Äquator kälter.	11	20%	2	4%
... würde es mehr Artenvielfalt geben.	4	7%	3	6%
keine Angabe	0	0%	0	0%

Welches der folgenden Gase ist KEIN Treibhausgas?

Die Lernenden sollten hier zwischen Kohlenstoffdioxid (CO₂), Sauerstoff (O₂), Methan (CH₄) und Wasserdampf (H₂O) wählen. Keine*r der Schüler*innen der 8. Schulstufe wählte Kohlenstoffdioxid (0 %) und nur eine Schülerin (2 %) der 11. Schulstufe entschied sich für diese Möglichkeit. 11 der 55 befragten Lernenden zwischen 13 und 15 Jahren (20 %) definierten Methan (CH₄) als kein Treibhausgas, während nur eine der 49 Lernenden zwischen 16 und 17 Jahren diese Antwort auswählte. Wasserdampf

(H₂O) wurde von 28 Schüler*innen der Sekundarstufe I (51 %) und von 17 Schüler*innen der Sekundarstufe II (35 %) selektiert. Die richtige Antwort (Sauerstoff O₂) wurde von 15 Unterstufenschüler*innen (27 %) und 30 Oberstufenschüler*innen (61 %) gewählt.

Tabelle 8: Zusammenfassung Ergebnisse Frage 6

F6 Welches der folgenden Gase ist KEIN Treibhausgas?	Anzahl Sek I	% (N = 55)	Anzahl Sek II	% (N = 49)
Kohlenstoffdioxid CO ₂	0	0%	1	2%
Sauerstoff O ₂	15	27%	30	61%
Methan CH ₄	11	20%	1	2%
Wasserdampf H ₂ O	28	51%	17	35%
keine Angabe	1	2%	0	0%

Was trägt NICHT zur globalen Erderwärmung bei?

Die eindeutige Mehrheit der Schüler*innen beider befragten Schulstufen wählten hier die Antwortmöglichkeit „*Nutzung von Solarenergie*“: 49 von 55 Unterstufenschüler*innen (89 %) und 45 von 49 Oberstufenschüler*innen (92 %) entschieden sich für diese Antwort. Die „*Land- und forstwirtschaftliche Nutzung (Viehzucht, Ackerbau)*“ wurde von vier Lernenden der 8. Schulstufe (7 %) und drei Lernenden der 11. Schulstufe (6 %) ausgewählt. Zwei der Unterstufenschüler*innen (4 %) und eine Oberstufenschülerin (2 %) waren der Meinung, die „*Abholzung der Wälder*“ trage nicht zur globalen Erderwärmung bei und kein*e Lernende*r beantwortete die Frage mit der Antwortmöglichkeit „*Verbrennung von fossilen Brennstoffen*“.

Tabelle 9: Zusammenfassung Ergebnisse Frage 7

F7 Was trägt NICHT zur globalen Erderwärmung bei?	Anzahl Sek I	% (N = 55)	Anzahl Sek II	% (N = 49)
Verbrennung von fossilen Brennstoffen	0	0%	0	0%
Land- und forstwirtschaftliche Nutzung (Viehzucht, Ackerbau)	4	7%	3	6%
Nutzung von Solarenergie	49	89%	45	92%
Abholzung der Wälder	2	4%	1	2%
keine Angabe	0	0%	0	0%

Welche Auswirkungen wird der Klimawandel voraussichtlich auf die Erde haben?

50 der 55 Lernenden der Sekundarstufe I (91 %) gaben an, dass der Klimawandel große Auswirkungen auf unser Leben und die Umwelt haben wird, beispielsweise in Form von mehr Umweltkatastrophen. Drei der befragten Schüler*innen (5 %) wählten die Antwortmöglichkeit „Es wird generell einfach wärmer, ansonsten keine Veränderungen“ aus und die restlichen zwei Lernenden (4 %) entschieden sich für die Antwort „Man weiß es nicht“. Die letzte Antwortmöglichkeit, welche aussagt, dass der Klimawandel voraussichtlich keine Auswirkungen auf die Erde haben wird, wurde von niemandem ausgewählt.

Die Antworten der Schüler*innen der Sekundarstufe II sind ähnlich eindeutig. 45 der 49 Befragten (92 %) wählten die erstgenannte Antwortmöglichkeit aus und nur vier (8 %) gaben an, nicht zu wissen welche Auswirkungen der Klimawandel voraussichtlich haben wird. Die beiden anderen Antwortmöglichkeiten wurden nicht selektiert.

Tabelle 10: Zusammenfassung Ergebnisse Frage 8

F8 Welche Auswirkungen wird der Klimawandel voraussichtlich auf die Erde haben?	Anzahl Sek I	% (N = 55)	Anzahl Sek II	% (N = 49)
Der Klimawandel wird große Auswirkungen auf unser Leben und die Umwelt haben (zB Es wird mehr Umweltkatastrophen geben).	50	91%	45	92%
Es wird generell einfach wärmer, ansonsten keine Veränderungen	3	5%	0	0%
Man weiß es nicht.	2	4%	4	8%
Keine.	0	0%	0	0%
keine Angabe	0	0%	0	0%

6.1.1.1 Unterschiede zwischen den befragten Schulstufen

Um zu erfassen, wie sich die Schülervorstellungen zum Klimawandel in den verschiedenen Schulstufen unterscheiden (Fragestellung II) wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben angewandt, wobei eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% angenommen wurde. Folgende Hypothesen wurden angenommen:

Nullhypothese H_0 : Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Schulstufen in Bezug auf die Schülervorstellungen.

Alternativhypothese H₁: Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Schulstufen in Bezug auf die Schülervorstellungen.

Wie in Tabelle 11 ersichtlich, konnten damit einige Unterschiede zwischen den unabhängigen Gruppen (8. Schulstufe & 11. Schulstufe) in Bezug auf verschiedene Vorstellungen zum Klimawandel ermittelt werden. Es besteht jeweils ein signifikanter Unterschied zwischen den Antworten der Unter- bzw. Oberstufenschüler*innen bei den Fragen zu den Folgen des Treibhauseffekts (F5) und den Treibhausgasen (F6). Für diese wird daher die Nullhypothese verworfen und die Alternativhypothese angenommen.

Tabelle 11: Ergebnisse des t-Test zu Fragestellung II (N = Stichprobe)

		Gruppe	N	MW	SD	Signifikanz	Cohen d
F1	Wissen um Erderwärmung	8. Schulstufe	55	1,82	0,389	0,131	0,341
		11. Schulstufe	49	1,92	0,277		
F2	anthropogene Einflüsse	8. Schulstufe	55	3,89	0,497	0,542	0,398
		11. Schulstufe	49	3,94	0,242		
F3	Beurteilung Klimawandel	8. Schulstufe	53	2,94	0,456	0,196	0,384
		11. Schulstufe	49	3,04	0,286		
F4	Erklärung Treibhauseffekt	8. Schulstufe	55	2,29	0,916	0,422	0,762
		11. Schulstufe	49	2,41	0,537		
F5	Folgen Treibhauseffekt	8. Schulstufe	55	1,96	0,942	0,002	0,895
		11. Schulstufe	49	1,41	0,84		
F6	Treibhausgase	8. Schulstufe	54	3,24	0,867	0,004	0,592
		11. Schulstufe	49	2,69	0,983		
F7	Beitrag zu Erderwärmung	8. Schulstufe	55	2,96	0,331	0,942	0,311
		11. Schulstufe	49	2,96	0,286		
F8	Auswirkungen Klimawandel	8. Schulstufe	55	1,13	0,433	0,711	0,493
		11. Schulstufe	49	1,16	0,553		

6.1.2 Offene Fragen

Nehmen wir an, die globale Temperatur steigt in den nächsten zehn Jahren um 2°C. Welche Auswirkungen könnte das auf das Leben auf der Erde haben? Nenne drei Aspekte!

Sekundarstufe I

Diese Frage beantworteten 48 Schüler*innen der Sekundarstufe I, die restlichen sieben Lernenden machten keine Angabe. Die Mehrheit der Lernenden gab mindestens drei Aspekte an, meist wurden sogar mehr genannt. Sehr oft wurden dabei Veränderungen des Wetters bzw. Klimas beschrieben: Fast die Hälfte der Schüler*innen (48 %) erwähnte dabei eine Erhöhung der Temperatur und 21 % nannten in diesem Zusammenhang immer wärmere bzw. sich ändernde Jahreszeiten.

Beispiele der Kategorie „Wetter und Klima“:

U1: „Es wird immer heißer“

U2: „heißere Sommer und Winter“

U9: „Es wird im Winter wärmer und weniger Schnee; Es könnte in manchen Ländern zu heiß werden“

U28: „Extreme Hitze“

U52: „Es wird starke Schwankungen zwischen zu kalt und viel zu warm geben.“

U55: „stärkere Wetterumschläge“

Eine Zunahme an Extremwetterereignissen und Umweltkatastrophen wie Überflutungen und extreme Trockenheit wurde von 46 % der befragten Unterstufenschüler*innen erwähnt.

Zu gleichen Teilen werden Veränderungen der Hydro- bzw. Kryosphäre genannt. 27 % der Lernenden erwarten einen allgemeinen Wassermangel auf der Erde, 19 % einen Anstieg des Meeresspiegels. Vergleichsweise ähnlich oft genannt wird das Schmelzen der Eisflächen auf der Erde: In 17 % der Antworten kam das Schmelzen von Gletschern vor, 29 % der Lernenden erwähnten eine Eisschmelze an Nord- und Südpol.

Beispiele der Kategorie „Veränderungen der Hydrosphäre“:

- U6: „Der Wasserspiegel steigt gewaltig, Städte könnten untergehen“*
- U27: „Meeresspiegel steigt, Seen trocknen aus“*
- U30: „hoher Wasserstand“*
- U45: „Es gibt nicht mehr genug Trinkwasser“*
- U49: „Das Wasser verdampft schneller und in größeren Mengen“*
- U52: „Es wird an manchen Orten zu wenig Wasser zum Leben und an anderen viel zu viel Wasser geben (Wassermangel, Überschwemmungen)“*
- U54: „an manchen Plätzen Salzwasser Überfluss und an manchen Orten Süßwasser Mangel“*

Beispiele der Kategorie „Veränderungen der Kryosphäre“:

- U2: „Es werden viele Gletscher schmelzen“*
- U31: „Mehr Meere da die Gletscher schmelzen“*
- U49: „Die Gletscher schmelzen sehr viel schneller“*
- U50: „große Schmelzen“*
- U3: „Eis am nord und südpol schmelzen“*
- U10: „Polarkappen schmelzen“*
- U37: „Nordpol und Südpol schmelzen weiter“*
- U54: „Pole schmelzen sehr stark“*

Ein weiterer oft genannter Aspekt ist der Verlust der Biodiversität auf der Erde. Dieser wurde von 23 % der Lernenden genannt. 10 % gaben eine allgemeine Veränderung der Umwelt als Auswirkung auf den Anstieg der globalen Mitteltemperatur an.

Beispiele der Kategorie „Veränderung Biodiversität und Umwelt“:

- U12: „Bestimmte Lebewesen könnten aussterben“*
- U14: „Außerdem könnten komplexe Tierarten wie Korallen aussterben.“*
- U16: „weniger Tiere“*
- U21: „Alpine Pflanzen würden ihren Lebensraum verlieren. Auch viele Tiere könnten nicht mehr überleben.“*
- U36: „Ausrottung vieler Tierarten“*
- U50: „weniger Menschen und Tiere leben“*

U55: „die Umwelt wird sich stark verändern (mehr Wüsten, andere Arten von Wäldern, ...)“

19 % der Antworten bezogen sich auf landwirtschaftliche Auswirkungen wie Ernteverlust und daraus resultierende Hungersnot. Weitere 13 % der Schüler*innen nannten einen allgemeinen Verlust von Land und Boden (Inseln etc.).

Beispiele Kategorie „Landwirtschaft und Boden“:

U6: „Die Bauern hätten weniger Ernte.“

U22: „Wenn es wärmer wird, wir es öfter Missernten auf den Feldern geben.“

U33: „Mehr Hungersnot (Ernte bleibt aus)“

U46: „Evtl. Ernteausfall“

U49: „Der Boden wird trockener, man kann weniger anbauen“

U3: „Länder am Äquator werden austrocknen“

U26: „Inseln gehen unter“

U31: „Mehr Wüste, kleinere Lebensräume“

U50: „Oberfläche verbrennt“

Einige wenige Schüler*innen gaben Auswirkungen für den Menschen wie Migration (4 %), Kriege (2 %) und gesundheitliche Folgen (2 %) an.

Beispiele der Kategorie „Auswirkungen für den Menschen“:

U14: „Es wird hunderte Millionen Flüchtlinge geben, die wo anders untergebracht werden müssen, da ihr Zuhause von extremen Naturkatastrophen oder die stetig steigende Temperatur unbewohnbar wird.“

U17: „Stätig ansteigende Temperaturen können für viele Probleme sorgen, wie z.B. das Schmelzen der Antarktis wodurch den Menschen mit der Zeit Lebensraum verlieren würden“

U20: „Es wird zu vielen Bürgerkriegen kommen, da es sehr wahrscheinlich viele Missernten geben wird“

U21: „Es hätte gesundheitliche Folgen für Menschen mit Grunderkrankungen.“

Drei Schüler*innen (6 %) erwarteten keine merklichen Auswirkungen bei einem Temperaturanstieg der globalen mittleren Temperatur um 2 Grad Celsius.

Sekundarstufe II

46 der 49 befragten Schüler*innen der Sekundarstufe II beantworteten diese Frage, drei machten keine Angabe. Die Antworten variieren sehr in ihrer Ausführlichkeit, jedoch wurden zusammenfassend meist mehr als drei mögliche Auswirkungen der Veränderung der globalen, mittleren Temperatur genannt. Von den vorliegenden Antworten konnte knapp die Hälfte der Kategorie „Wetter und Klima“ zugeordnet werden. 46 % der Lernenden erwähnten eine Veränderung der Temperatur und weitere 4 % nannten Auswirkungen auf die Jahreszeiten. Heraus sticht, dass eine Vielzahl der Schüler*innen (15 % der gesamten, gegebenen Antworten) Hitzetode als Folge eines Temperaturanstiegs nennt. Diese wurden ebenfalls in dieser Kategorie vermerkt, da sie in direktem Zusammenhang mit Wetter und Klima stehen.

Beispiele der Kategorie „Wetter und Klima“:

O4: „zunehmende Hitzetode“

O16: „Jahreszeitenänderungen“

O22: „stärkere Wetterextreme“

O25: „große und schnelle Temperaturumschwünge“

O29: „Heißere Sommer, Hitze“

O48: „Drastische Veränderung des Klimas“

Ein Schüler ist der Ansicht, dass es nicht wärmer, sondern kälter werden würde:

O26: „es könnte kurzfristig sehr viel kälter werden“

54 % der Schüler*innen der 11. Schulstufe nannten Extremwetterereignisse und Umweltkatastrophen, darunter vor allem Überschwemmungen, Brände und Dürren, als mögliche Auswirkungen.

Veränderungen der Hydro- und Kryosphäre werden auch von den befragten Oberstufenschüler*innen zu etwa gleichen Teilen genannt. 15 % der Lernenden erwähnten Wassermangel in ihren Antworten, 33 % erwarten einen Anstieg des Meeresspiegels. Ein weiterer, oft genannter Aspekt ist die Veränderung des Golfstroms, welche von 11 % der Schüler*innen in ihren Antworten erwähnt wird. Das Schmelzen von Gletschern wurde von 33 % der Lernenden betont, weitere 28 % nannten das Schmelzen der Pole.

Eine Vielzahl der Lernenden bringt die Schmelze von Eisflächen in Verbindung mit dem Anstieg des Meeresspiegels und Überschwemmungen von bestimmten Gebieten sowie mit dem Verlust von Lebensraum für Mensch und Tier.

Beispiele der Kategorie „Veränderungen der Hydrosphäre“:

O6: *„Wasserknappheit“*

O31: *„Es wird weniger Wasser geben“*

O32: *„Wassermangel in bedürftigen Gebieten“*

O20: *„Anstieg des Meeresspiegels (Eisschmelzen)“*

O25: *„der Meeresspiegel wird ansteigen und Überflutungen verursachen“*

O40: *„Steigung des Meeresspiegels ->Hochwasser, Überschwemmungen, Tsunami etc“*

O43: *„Die Meere erwärmen sich womit sie sich ausdehnen und der Meeresspiegel steigt“*

O5: *„Eiszeit in Europa durch Erwärmung des Golfstroms“*

O36: *„Golfstrom ändert sich“*

O49: *„Der Golfstrom wird unterbrochen und Europa wird kälter“*

Beispiele der Kategorie „Veränderungen der Kryosphäre“:

O15: *„Gletscher schmelzen“*

O18: *„Schmelzen der Gletscher Weltweit was zu Überschwemmungen führen wird“*

O23: *„Schmelzen von Gletschern -> Steigen der Meeresspiegel -> Überschwemmung von bestimmten Gebieten“*

O32: *„Schmelzen von Eiskappen und Gletschern“*

O2: *„die Pole schmelzen und das Süßwasser gelangt in das Meer und bringt den Salzwasserhaushalt und die Temperaturregulation durcheinander“*

O11: *„Schmelzen der Pole (Vermischung von Süß-und Salzwasser, Wasser Spiegel steigt)“*

O40: *„Schmelzen der Polkappen und Gletscher und dadurch ein Aussterben der Tiere, die im/beim Eis leben zB Eisbär“*

17 % der Jugendlichen gaben eine allgemeine Veränderung der Umwelt als Auswirkung eines Temperaturanstiegs an. Dabei wurde sehr oft die Austrocknung von

Gebieten und als Folge davon der Verlust von Lebensräumen genannt. Etwa die Hälfte (46 %) betrachtete eine negative Veränderung der Artenvielfalt als wahrscheinliche Konsequenz.

Beispiele der Kategorie „Veränderung Biodiversität und Umwelt“:

O1: *„Aussterben vieler Tierarten, die unter den neuen Klimabedingungen nicht leben können“*

O18: *„Insekten, die ein wärmeres Klima gewohnt sind wie die Malaria-Mücke werden uns nun auch belasten, andere Arten die Kälte brauchen sterben aus“*

O20: *„Bestimmte Pflanzen- bzw. Tierarten werden aussterben“*

O33: *„Sinken der Biodiversität“*

O48: *„Weniger Vielfalt in Fauna und Flora“*

Der Verlust von Land als Lebens- und Bewirtschaftungsraum wird von 15 % der Lernenden erwähnt. Diese werden meist in Zusammenhang mit den erwarteten klimatischen Veränderungen genannt. Landwirtschaftliche Auswirkungen werden von 9 % der Befragten angegeben.

Beispiele Kategorie „Landwirtschaft und Boden“:

O5: *„Inseln gehen unter durch Steigen des Meeresspiegels“*

O27: *„Zerstörung Ökosysteme“*

O38: *„Inseln gehen unter durch höheren Wasserspiegel“*

O39: *„Viele Teile der Erden sind nicht mehr bewohnbar“*

O3: *„Probleme in der Landwirtschaft, Umstellung für den Menschen“*

O17: *„Mehr ausgetrocknete Ernten; Weniger Bewässerung für Pflanzen“*

Wenige Schüler*innen gaben spezifische Auswirkungen für den Menschen und die Gesellschaft an. Am meisten wurden wirtschaftliche und soziale Veränderungen genannt (9 %). Einzelne Lernende zählten außerdem Migration (7 %), Konflikte (2 %) und gesundheitliche Folgen (2 %) für den Menschen als mögliche Auswirkungen eines Temperaturanstiegs um 2 Grad Celsius auf.

Beispiele der Kategorie „Auswirkungen für den Menschen“:

O7: *„vermehrte soziale Unterschiede durch zB Wasserknappheit“*

O9: „Ungleichheit in Ländern, Klimakonflikte“

O16: „Klimaflüchtlingskrisen wegen Katastrophen“

O18: „Epidemien durch die freigesetzten Bakterien die sich in den Gletschern befinden“

O39: „SEHR VIELE Klimaflüchtlinge“

O43: „es könnte zu einer Hungerskrise kommen“

Einige Schüler*innen zeigten sich allgemein sehr beunruhigt bzw. pessimistisch in ihren Antworten auf die Frage, welche Auswirkungen der Anstieg der globalen, mittleren Temperatur haben wird. Im Folgenden sind einige Beispiele angeführt, die bei der Analyse herausstachen:

O9: „Wirklich, wirklich sehr schlecht“

O46: „Meeresspiegel steigt, Tiere STERBEN, Keine Bäume, EXTREME Temperaturunterschiede ---> LEID UND SCHMERZ“

Zwei Lernende nannten in ihrer Antwort außerdem das Buch „The Uninhabitable Earth“ von David Wallace-Wels, welches sich mit unterschiedlichen Folgen des Klimawandels auseinandersetzt.

Was kannst du in deinem täglichen Leben tun, um die weitere Entwicklung auf das Klima bzw. die Klimaerwärmung positiv zu beeinflussen? Nenne drei Aspekte!

Sekundarstufe I

Diese Frage wurde von 47 der 55 Unterstufenschüler*innen beantwortet. Im Durchschnitt wurden drei Aspekte genannt, oft aber auch weniger. Die Antworten wurden im Zuge der Analyse in folgende Kategorien eingeteilt: Verkehrsmittel, Energie & Wasser, Konsumverhalten, Ernährung, Recycling, Mülltrennung und Umweltschutz. Auffallend ist, dass sich die Antworten der Lernenden oft in eine oder maximal zwei dieser Kategorien einordnen lassen. So wurden beispielsweise in einer Antwort nur Aspekte des Konsumverhaltens oder der Verwendung von Verkehrsmitteln erwähnt. Verknüpft oder vermischt wurden die unterschiedlichen Bereiche von den Lernenden eher selten.

Eine besonders oft genannte Möglichkeit, den anthropogenen Klimawandel einzugrenzen, ist die verminderte Verwendung von treibstoffbetriebenen Verkehrsmitteln wie Autos und Flugzeugen. 45 % der Lernenden stimmten dafür, weniger mit dem Auto zu fahren, 6 % erwähnten Flugzeuge und zugehörige Fernreisen. Es wurde stattdessen von 21 % geraten, mehr mit öffentlichen Verkehrsmitteln wie Bus, U-Bahn und Zug zu fahren. 26 % der Schüler*innen gaben an, dass man mehr mit dem Fahrrad fahren könnte, 6 % nannten das Fortbewegen zu Fuß als positiven Einfluss auf die Klimaerwärmung. Ein Schüler (U18) empfahl, *„mehr Transportmittel [zu] verwenden, die keine Abgase haben“*.

Drei Schüler*innen erwähnten einen verminderten CO₂-Ausstoß in ihren Antworten und verbanden diesen unter anderem mit der reduzierten Nutzung von treibstoffbetriebenen Verkehrsmitteln:

U14: „Man könnte seinen CO₂-Ausstoß geringhalten, indem man z. B. keine Benzinautos fährt oder allgemein seinen Umgang mit anderen Sachen verbessert.“

U52: „CO₂ sparen -> weniger Autofahren etc.“

Bei einer Schülerin konnte eine genaue Kenntnis verschiedener Maßnahmen zur Reduzierung der CO₂-Emissionen festgestellt werden:

U22: „Um den CO₂-Ausstoß zu verringern könnte man weniger mit dem Auto fahren und Flugreisen einschränken, indem man die öffentlichen Verkehrsmittel. Auch Carsharing ist eine gute Möglichkeit. Man sollte auch verhindern Wälder abzuholzen, denn diese speichern CO₂ und geben Sauerstoff (O₂) ab. Auch Moore sollte man schützen, da diese auch sehr viel Kohlenstoffdioxid speichern. Deswegen verwende ich eine torffreie Blumenerde.“

30 % der Lernenden nannten Energiesparen als wichtigen Aspekt der Eingrenzung der Klimaerwärmung. Die Nutzung von erneuerbaren Energiequellen, vor allem Solarenergie, wurde von 13 % der Befragten angegeben. 4 % der Schüler*innen bezeichneten außerdem das Sparen von Wasser als relevanten Faktor.

Sehr viele Antworten konnten in die Kategorie „Konsumverhalten“ eingeordnet werden. Hier wurde vor allem eine Reduktion von Plastik (vor allem als Verpackungsmaterial) im Alltag oft genannt (36 % der gesamten Antworten). 28 % der Lernenden raten regional und/oder saisonal einzukaufen, sowohl Alltags- und Gebrauchsgegenstände als auch Lebensmittel. Zwei Lernende erwähnten außerdem, dass man mit dem Kauf von Bio-Produkten die weitere Entwicklung des Klimas positiv beeinflussen könnte. Nur eine Person (2 %) erwähnte die Modeindustrie in ihrer Antwort: *„keine fast fashion kaufen“*.

Beispiele der Kategorie „Konsumverhalten“:

U4: „Vielleicht nicht so viel Plastik verwenden, aus Glasflaschen trinken“

U22: „Wiederverwendbare Flaschen statt Plastikflaschen benutzen/kaufen. Regional und der Jahreszeit entsprechend einkaufen. Plastiksackerl sparen.“

U27: „weniger Plastikverpackungen“

U34: „Besser auf Verpackungen und ähnliches achten - möglichst aus Österreich kaufen; Weniger Plastik kaufen“

U47: „nicht so viel Plastik verwenden“

U55: „Produkte aus dem eigenen Land kaufen oder von Ländern in der Nähe“

Eine Veränderung der eigenen Ernährung wurde von wenigen Unterstufenschüler*innen erwähnt. Nur 6 % gaben an, mit vermindertem Fleischkonsum die Klimaerwärmung eingrenzen zu können.

Beispiele der Kategorie „Ernährung“:

U22: „Man könnte weniger Fleisch konsumieren, welches ich bereits tue.“

U38: „weniger Fleisch essen“

Recycling wurde von 6 % der Befragten als Möglichkeit angegeben, Wiederverwendung von Gebrauchsgegenständen und Kleidung von 15 % der Lernenden.

Weitere 15 % nannten Mülltrennung als wichtigen Faktor für einen positiven Einfluss auf die Klimaerwärmung. Zwei Lernende gaben außerdem an, man sollte generell weniger Müll produzieren und diesen richtig entsorgen.

Zwei weitere Schüler*innen empfahlen, weniger Wälder bzw. Bäume abzuholzen. Einzelne Lernenden verbanden das Thema Klimaerwärmung augenscheinlich mit Wärme und Trockenheit, sodass sie Aspekte nannten wie „Wärme nicht durch Heizungen erzeugen“, „Lufttrocknen“ (U14) und „keine Klimaanlage“ (U12). Ein Schüler (U31) hielt sich sehr allgemein mit der Antwort „weniger Gase in die Luft senden“, wobei vermutlich Treibhausgasemissionen gemeint waren.

Sekundarstufe II

47 von 49 Schüler*innen der 11. Schulstufe beantworteten diese Frage. Es wurden im Durchschnitt mehr als drei Aspekte zur positiven Beeinflussung der Klimaerwärmung aufgelistet. Bei der Analyse wurden die Antworten der Oberstufenschüler*innen in dieselben Kategorien wie die Antworten der Sekundarstufe I eingeteilt, allerdings wurde hier die Liste mit der Kategorie „Aktivismus“ erweitert. Die Antworten der Lernenden waren etwas breiter gefächert und es wurden meist Aspekte aus unterschiedlichen Kategorien in einer Antwort genannt.

In den Antworten der Sekundarstufe II war die Kategorie „Verkehrsmittel“ sehr oft vertreten. 34 % der Lernenden empfahlen eine verminderte Nutzung von Autos im Alltag, 30 % erwähnten in diesem Zusammenhang Flugzeuge und Flugreisen. Über ein Drittel der Lernenden (38 %) nannte als Alternative die Verwendung von öffentlichen Verkehrsmitteln. Weitere 19 % behaupteten mit Fahrradfahren die Klimaerwärmung positiv beeinflussen zu können. Die Fortbewegung zu Fuß wurde nicht erwähnt.

Beispiele der Kategorie „Verkehrsmittel“:

O5: „Fortbewegungsmittel wie Auto oder Flugzeug zu verzichten“

O9: „auf Fliegen (vor allem Kurzstreckenflüge) öfters verzichten“

O11: „Rad, Zug usw statt Auto/Flugzeug“

O26: „Öffis nützen Klima schützen; weniger Autofahren“

O33: „Nicht mit Flugzeug reisen, stattdessen mit den Zug; Weniger Autofahren“

O38: „mit Öffis fahren“

13 % der Lernenden gaben an, durch Energiesparen einen wichtigen Beitrag zur Eindämmung der Klimaerwärmung zu leisten. Dabei wurden vor allem spezifische

Handlungen im Alltag genannt, durch die Strom bzw. Energie eingespart werden kann. Die Nutzung von erneuerbaren Energiequellen wurde von 11 % als förderlich empfunden. 4 % der Schüler*innen gaben außerdem an, dass Wassersparen wichtig sei.

Beispiele der Kategorie „Energie & Wasser“:

O1: „Wasser sparen (beim Zähneputzen den Wasserhahn zudrehen, etc.)“

O10: „Keine fossilen Brennstoffe verwenden“

O11: „erneuerbare Energie nützen (Elektroauto, Solarenergie usw)“

O26: „weniger Strom verschwenden“

O30: „Heizungen runterdrehen“

O36: „Licht abdrehen“

Eine besonders oft erwähnte Kategorie ist das allgemeine Konsumverhalten der Menschen (30 % der Antworten). Der verminderte Kauf und die Verwendung von Plastik wurden von 23 % der Lernenden erwähnt. 28 % befürworteten den Kauf von regionalen bzw. Bio-Produkten und Lebensmitteln. Einige Schüler*innen der Sekundarstufe II erwähnten außerdem den Kauf von Secondhand-Produkten (15 %) und sprachen sich gegen Fast-Fashion aus (4 %).

Beispiele der Kategorie „Konsumverhalten“:

O16: „Nachhaltige Kleidung/Produkte kaufen; Regionales Essen kaufen“

O17: „Essen aus dem eigenen Land kaufen, keine importierten Lebensmittel die mit dem Flugzeug gebracht werden; weniger Plastik verpackte Produkte kaufen“

O39: „Konsum von Fast Fashion reduzieren“

O41: „Second Hand kaufen“

O46: „Plastik NICHT verwenden. Second Hand, Konsumsucht in den Griff bekommen“

O49: „regional erzeugte Produkte konsumieren“

Knapp die Hälfte der Lernenden (47 %) erwähnte eine bewusste und nachhaltige Ernährung als wichtigen Faktor, der die Klimaerwärmung positiv beeinflussen kann. Die Schüler*innen setzen dabei vor allem auf einen reduzierten Fleischkonsum, sowie auf eine vegetarische und/oder vegane Ernährung.

Beispiele der Kategorie „Ernährung“:

O2: „weniger Fleisch und andere Lebensmittel wie Kaffee, die viel Wasser zur Produktion brauchen“

O6: „Verzehr von tierischen Lebensmitteln reduzieren/verzichten“

O18: „Kein Fleisch oder Palmöl konsumieren“

O40: „Auf tierische Produkte verzichten / sie vermeiden/ eine pflanzenbasierte Ernährung in Betracht ziehen“

O46: „VEGAN!!! Ernähren“

Weniger Schüler*innen gaben in ihren Antworten Recycling und Wiederverwendung von Rohstoffen und Produkten an (jeweils 9 %).

Die Kategorie „Mülltrennung“ fand sich in 13 % der Antworten sehr allgemein wieder. Die Abholzung von Bäumen wurde im Gegensatz zur Sekundarstufe I von niemandem erwähnt. Zwei Lernende gaben außerdem Aktivismus als wichtigen Aspekt in ihren Antworten an und machten deutlich, wie wichtig es sei, sich zu informieren und anderen Menschen die Klimaproblematik näher zu bringen. Von einem Schüler wurde allerdings auch angegeben, dass nicht nur einzelne Menschen, sondern auch die Politik und die Wirtschaft einen großen Beitrag leisten müssen, um die Klimaerwärmung einzudämmen: *„Es hängt nicht nur an mir, Politiker*innen und Konzerne müssen handeln und nicht die Verantwortung auf Einzelne schieben“* (O13).

Abschließend ist eine weitere Antwort zu nennen, welche als allgemeine Einstellung gegenüber der Klimaproblematik anzusehen ist: *„Nicht aufgeben!“* ist die Devise eines Schülers.

6.2 Zusammenfassung des zweiten Teils des Fragebogens

6.2.1 Persönlicher Umgang mit Klimawandel und Klimaproblematik

Der persönliche Umgang der Lernenden mit der Thematik wurde anhand einer vierstufigen Likert-Skala erhoben. Die Lernenden konnten bei der Einordnung einiger Statements zwischen „trifft nicht zu“, „trifft eher nicht zu“, „trifft eher zu“ und „trifft zu“ wählen. Es zeigt sich, dass das Interesse an der Thematik bei der Mehrheit der Schüler*innen beider Schulstufen groß ist: 47 % der Unterstufenschüler*innen gaben dabei „trifft eher zu“ an und 24 % wählten „trifft zu“. Jeweils über ein Drittel der Oberstufenschüler*innen wählten ebenfalls diese beiden Antwortmöglichkeiten aus. Bei den Fragen nach Kenntnis und Umweltbewusstsein zeigt sich ein relativ ausgeglichenes, aber eher positives Bild. In beiden Schulstufen ist hier die am häufigsten gewählte Antwort „trifft eher zu“. Die restlichen Werte sind um diese Antwort normalverteilt, „trifft nicht zu“ wurde nur von maximal 8 % der Lernenden ausgewählt. Die Schüler*innen wollen außerdem neue Erkenntnisse zu diesem Thema in der Schule lernen, was aus eindeutig positiven Antworten herauslesbar ist. Bei der Frage, ob das Thema in der Schule genügend behandelt wird, sind sich die Lernenden sehr uneinig, was sich in einer ausgeprägten Streuung der Antworten zeigt. Etwa gleich viele Schüler*innen der Sekundarstufe I geben an, dass dies eher nicht zutreffe bzw. eher zutreffe. Die Meinungen der Lernenden der Sekundarstufe II spalten sich noch mehr (18 % „trifft nicht zu“, 33 % „trifft eher nicht zu“, 20 % „trifft eher zu“, 27 % „trifft zu“). Die Mehrheit der Unterstufenschüler*innen findet nicht, dass man über das Thema schon genug in anderen Fächern lernt und dieses deshalb im Chemieunterricht nicht mehr bearbeiten sollte. Jeweils 33 % der Lernenden wählten hier „trifft nicht zu“ oder „trifft eher nicht zu“ aus. Die Antworten der Oberstufenschüler*innen sind auch bei diesem Statement relativ unterschiedlich, jedoch sind etwas mehr als die Hälfte der Lernenden der Meinung, dass das Thema nicht unbedingt auch noch im Chemieunterricht behandelt werden muss. Beim zugehörigen Statement „Ich würde mir wünschen, dass das Thema Klimawandel ausführlicher im Chemieunterricht besprochen wird“ ist ein positiver Trend ersichtlich, die Antwortmöglichkeit „trifft nicht zu“ wurde von beiden Schulstufen am wenigsten oft ausgewählt. Die Relevanz einer genaueren Kenntnis des Themas für das zukünftige Leben wird von der eindeutigen Mehrheit aller Lernenden augenscheinlich anerkannt, da die häufigsten Antworten hier „trifft eher zu“ und „trifft zu“ sind.

Tabelle 12: Zusammenfassung der Ergebnisse der Likert-Skala (Sekundarstufe I)

SEK 1	Statement	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft zu	Mittelwerte
	<i>Übersetzung in Zahlenwerte</i>	1	2	3	4	
F9	Mein Interesse an der Klimaproblematik ist sehr groß.	1	14	26	13	2,9
F10	Ich kenne mich sehr gut mit dem Thema aus.	1	19	27	7	2,7
F11	Ich achte sehr auf meinen Einfluss auf die Umwelt.	0	17	27	10	2,9
F12	Mir ist es sehr wichtig, neue Erkenntnisse zu diesem Thema in der Schule zu lernen.	2	12	18	21	3,1
F13	Das Thema wird in der Schule genügend behandelt.	5	21	20	8	2,6
F14	Das Thema muss NICHT unbedingt im Chemieunterricht bearbeitet werden, da man in anderen Fächern schon genug darüber lernt.	18	18	14	3	2,0
F15	Ich würde mir wünschen, dass das Thema Klimawandel ausführlicher im Chemieunterricht besprochen wird.	3	20	21	10	2,7
F16	Eine genauere Kenntnis über das Thema Klima und Klimawandel ist sehr wichtig für mein zukünftiges Leben.	1	4	23	26	3,4

Tabelle 13: Zusammenfassung der Ergebnisse der Likert-Skala (Sekundarstufe II)

SEK 2	Statement	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft zu	Mittelwerte
	<i>Übersetzung in Zahlenwerte</i>	1	2	3	4	
F9	Mein Interesse an der Klimaproblematik ist sehr groß.	4	8	20	17	3,0
F10	Ich kenne mich sehr gut mit dem Thema aus.	2	11	26	9	2,9
F11	Ich achte sehr auf meinen Einfluss auf die Umwelt.	4	11	22	11	2,8
F12	Mir ist es sehr wichtig, neue Erkenntnisse zu diesem Thema in der Schule zu lernen.	5	6	14	23	3,1
F13	Das Thema wird in der Schule genügend behandelt.	9	16	10	13	2,6
F14	Das Thema muss NICHT unbedingt im Chemieunterricht bearbeitet werden, da man in anderen Fächern schon genug darüber lernt.	13	8	19	8	2,5
F15	Ich würde mir wünschen, dass das Thema Klimawandel ausführlicher im Chemieunterricht besprochen wird.	6	17	14	11	2,6

F16	Eine genauere Kenntnis über das Thema Klima und Klimawandel ist sehr wichtig für mein zukünftiges Leben.	5	4	9	30	3,3
------------	---	---	---	---	----	-----

6.2.1.1 Unterschiede zwischen den befragten Schulstufen

Um Unterschiede in den Antworten der Schüler*innen der beiden Schulstufen zu erfassen, wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben angewandt, wobei eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % angenommen wurde.

Die folgende Tabelle fasst die Mittelwerte der Antworten von Sekundarstufe I & II zu den unterschiedlichen Statements zusammen. Es ist ersichtlich, dass die Lernenden im Durchschnitt ähnliche Ansichten zum Umgang mit Klimawandel haben. Ein signifikanter Unterschied in den Antworten ist nur bei Statement 6 („*Das Thema muss NICHT unbedingt im Chemieunterricht bearbeitet werden, da man in anderen Fächern schon genug darüber lernt.*“) erkennbar, wobei hier die befragten Unterstufenschüler*innen eher finden, dass das Thema im Chemieunterricht behandelt werden sollte.

Tabelle 14: Ergebnisse des t-Test zu Fragestellung III (N = Stichprobe)

		Gruppe	N	MW	SD	Signifikanz	Cohen d
F9	Interesse am Klimawandel	8. Schulstufe	54	2,94	0,763	0,649	0,843
		11. Schulstufe	49	3,02	0,924		
F10	Kenntnis über KW	8. Schulstufe	54	2,74	0,705	0,358	0,732
		11. Schulstufe	48	2,88	0,761		
F11	Einfluss auf Umwelt	8. Schulstufe	54	2,87	0,702	0,814	0,792
		11. Schulstufe	48	2,83	0,883		
F12	Wille zu Lernen	8. Schulstufe	53	3,09	0,883	0,785	0,946
		11. Schulstufe	48	3,15	1,01		
F13	Lernen in Schule	8. Schulstufe	54	2,57	0,86	0,953	0,975
		11. Schulstufe	48	2,56	1,09		
F14	KW im Chemieunterricht 1	8. Schulstufe	53	2,04	0,919	0,038	0,994
		11. Schulstufe	48	2,46	1,071		
F15	KW im Chemieunterricht 2	8. Schulstufe	54	2,7	0,838	0,663	0,908
		11. Schulstufe	48	2,63	0,981		
F16	Zukunft	8. Schulstufe	54	3,37	0,708	0,834	0,868
		11. Schulstufe	48	3,33	1,018		

Es konnten außerdem einige signifikante Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Fragen ermittelt werden. Da es sich um ordinale Daten handelt, wurden

Rangkorrelationen nach Spearman mithilfe von SPSS berechnet und zweiseitig getestet ($p = 0,01$).

Schüler*innen, die großes Interesse am Klimawandel vermerkten, gaben an, dass es ihnen wichtig sei, neue Erkenntnisse zu diesem Thema in der Schule zu lernen ($r_s = 0,686$ bei $p = 0,01$ (zweiseitig)). Dieselbe Gruppe von Schüler*innen gab außerdem an, den Klimawandel vor allem im Chemieunterricht eingehender behandeln zu wollen ($r_s = 0,511$ bei $p = 0,01$ (zweiseitig)) und empfindet eine genauere Kenntnis des Themas als besonders wichtig für das zukünftige Leben ($r_s = 0,632$ bei $p = 0,01$ (zweiseitig)).

			F9	F12
Spearman-Rho	F9	Korrelationskoeffizient	1,000	,686**
		Sig. (2-seitig)	.	<,001
		N	103	101
	F12	Korrelationskoeffizient	,686**	1,000
		Sig. (2-seitig)	<,001	.
		N	101	101

** . Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

			F9	F15
Spearman-Rho	F9	Korrelationskoeffizient	1,000	,511**
		Sig. (2-seitig)	.	<,001
		N	103	102
	F15	Korrelationskoeffizient	,511**	1,000
		Sig. (2-seitig)	<,001	.
		N	102	102

** . Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

			F9	F16
Spearman-Rho	F9	Korrelationskoeffizient	1,000	,632**
		Sig. (2-seitig)	.	<,001
		N	103	102
	F16	Korrelationskoeffizient	,632**	1,000
		Sig. (2-seitig)	<,001	.
		N	102	102

** . Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

Abbildung 12: Signifikante Rangkorrelationen nach Spearman berechnet anhand der Daten zum persönlichen Umgang mit Klimawandel und Klimaproblematik (Grafiken erstellt mit SPSS)

6.2.2 Woher beziehen die Schüler*innen ihre Informationen zum Thema Klimawandel?

Im zweiten Teil des Fragebogens wird außerdem danach gefragt, woher die Lernenden ihre Informationen zum Klimawandel erhalten. Sie konnten dabei aus verschiedenen vorgegebenen Quellen wählen und zusätzlich noch andere Informationsquellen hinzufügen. Die Befragten der Sekundarstufe I wählten am häufigsten die Schule als Informationsquelle (76 %), dicht gefolgt von sozialen Medien wie Instagram und Twitter (73 %) und anderen Internetquellen (67 %). Familie (45 %) und Freunde (18 %) sowie Zeitungen und Zeitschriften (29 %) wurden von bedeutend weniger Schüler*innen als Quelle angegeben. Zwei Schüler*innen wählten die Kategorie „Sonstige“ (4 %) aus und gaben als zusätzliche Informationen jeweils „Youtube“ und „Serien/Filme“ an. Letzteres könnte auch der Kategorie „Fernsehen und Radio“ zugeordnet werden. Die Lernenden der Sekundarstufe II gaben sehr ähnliche Antworten. Auch hier stehen Internetquellen an erster Stelle (86 %) vor soziale Medien (82 %) und Schule (78 %) an dritter Stelle. Zusätzlich wurden sehr oft Dokumentationen auf Streamingplattformen (Netflix, Amazon Prime etc.) (71 %) ausgewählt. Freunde (41 %), Familie (35 %), Fernsehen und Radio (41 %) und Zeitungen und Zeitschriften (49 %) wurden seltener als Informationsquelle für den Klimawandel genannt. Eine Lernende fügte unter dem Punkt „Sonstige“ (6 %) noch Demonstrationen als wichtige Quelle hinzu. Ein Schüler nannte das Buch „The Uninhabitable Earth“ von David Wallace Wells und eine Schüler*in gab als Informationsquellen noch „Telegram“ und „Tägliche Selbstrecherche“ an.

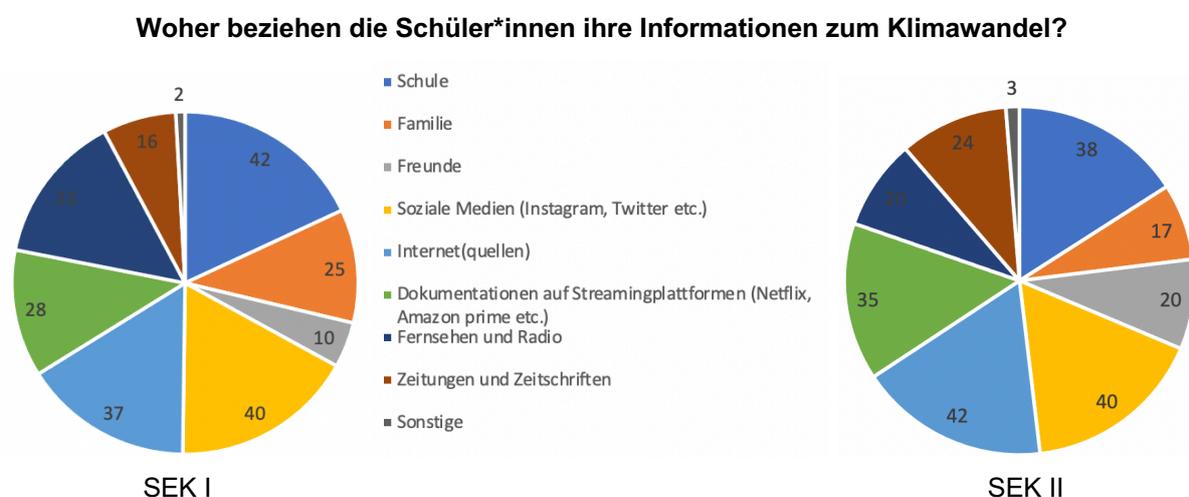


Abbildung 13: Woher beziehen die Schüler*innen der Sekundarstufe I & II ihre Informationen zum Klimawandel? (Quelle: Eigene Grafik, erstellt mit Excel)

6.2.3 In welchen Schulfächern wurde das Thema Klimawandel & Klimaproblematik besprochen?

Dann wurden die Lernenden gefragt, in welchen Schulfächern die Thematik des Klimawandels schon bearbeitet wurde. Es handelte sich dabei um ein offenes Aufgabenformat und die Schüler*innen sollten alle Fächer nennen, in denen der Klimawandel und die Klimaproblematik in irgendeiner Weise besprochen wurden.

42 der 55 Unterstufenschüler*innen beantworteten diese Frage, 13 machten keine Angabe.

Es wurden durchschnittlich zwei Schulfächer pro Antwort angegeben. Mit Abstand am häufigsten wurde das Fach Chemie genannt (74 %), gefolgt von Geografie und Biologie (jeweils von 50 % der Schüler*innen angegeben). Einige Lernende erwähnten außerdem die Fächer Geschichte und Wirtschaftskunde (24 %) und Physik (17 %). Ein Schüler fügte seiner Antwort das Fach Deutsch hinzu.

Von 49 Oberstufenschüler*innen beantworteten 41 die Frage, in welchen Schulfächern die Thematik schon bearbeitet wurde. In der Sekundarstufe II wurden generell mehr Schulfächer genannt und die Antworten der Lernenden variierten stark in Umfang und Art. Über drei Viertel der Befragten (78 %) nannten Geografie als wichtiges Schulfach, in welchem der Klimawandel behandelt wurde. Knapp danach folgen Biologie (59 %), Physik (49 %) und Englisch (41 %). Das Schulfach Chemie wurde von 39 % der Lernenden erwähnt. Jeweils 15 % der Schüler*innen gaben außerdem Geschichte und Wirtschaftskunde bzw. Geschichte und Politische Bildung und Deutsch an, 10 % nannten Französisch. Von einem Schüler wurde das Fach Textiles Werken vermerkt und zwei Lernende behaupteten, die Thematik in keinem Schulfach besprochen zu haben.

In welchen Fächern wurde das Thema Klimawandel & Klimaproblematik laut Schüler*innen besprochen?

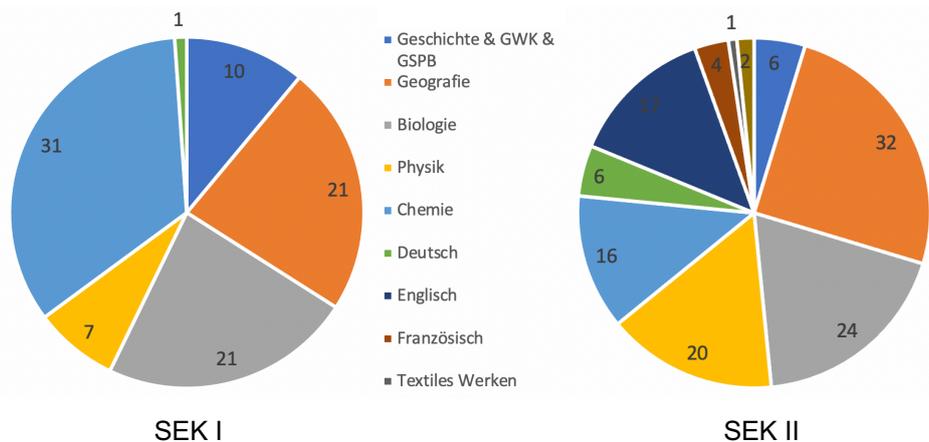


Abbildung 14: In welchen Fächern wurde das Thema Klimawandel & Klimaproblematik laut Sekundarstufe I & II besprochen? (Quelle: eigene Grafik, Excel)

6.2.4 Wie wollen die Lernenden das Thema Klimawandel im Chemieunterricht behandelt wissen?

Im Anschluss wurden die Lernenden noch gefragt, mit welchen Methoden sie die Thematik des Klimawandels gerne im Chemieunterricht bearbeiten würden. Dabei konnten sie wieder aus mehreren, vorgegebenen Antwortmöglichkeiten auswählen, aber auch eigene Anmerkungen machen. Zur Auswahl standen Experimente, Dokumentationen, Exkursionen und Expertenvorträge.

Diese Frage wurde von 54 Schüler*innen der Sekundarstufe I und von allen 49 Schüler*innen der Sekundarstufe II beantwortet. Allgemein konnte festgestellt werden, dass die Befragten meist mehrere oder sogar alle Antwortmöglichkeiten bzw. möglichen Unterrichtsmethoden auswählten, die im Fragebogen vorgegeben waren. Die befragten Unterstufenschüler*innen wählten am häufigsten Experimente (64 %) und Exkursionen (55 %) aus. Dokumentationen wurden ebenfalls von fast der Hälfte der Lernenden angegeben, Expertenvorträge liegen mit 35 % an letzter Stelle. Es wurden keine anderen Methoden angegeben.

Bei den Lernenden der 11. Schulstufe stehen Experimente ebenfalls an erster Stelle, da sie von 88 % der Jugendlichen ausgewählt wurden. Weiters scheinen

Dokumentationen (69 %) und Exkursionen (49 %) sehr beliebt zu sein. Expertenvorträge wurden nur von 16 % als beliebte Methode vermerkt. Fünf Oberstufenschüler*innen fügten außerdem eigene Anmerkungen hinzu. Es wurden Wandertage in ehemalige Gletschergebiete (Großglockner Hochalpenstraße) empfohlen, was grundsätzlich unter Exkursionen vermerkt werden könnte. Eine Schülerin wählte Dokumentationen aus und merkte zusätzlich an: „Dokus aber die krasse Art, die einen wirklich zum Nachdenken bringen“. Eine weitere Lernende gab „Schocktherapie“ als favorisierte Methode an, was sich grundsätzlich aber eher auf die Vorgehensweise und nicht auf die Unterrichtsform bezieht.

Wie würden die Schüler*innen das Thema Klimawandel gerne im Chemieunterricht behandelt wissen?

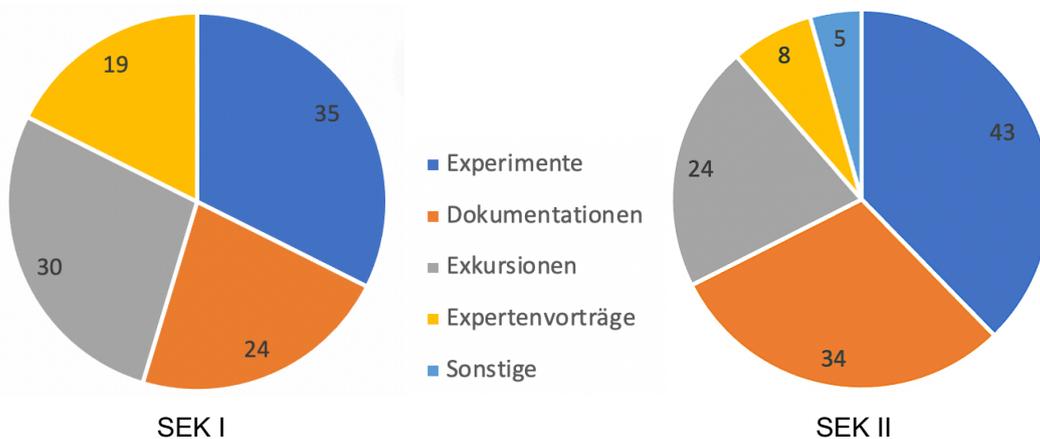


Abbildung 15: Wie würden die Schüler*innen der Sekundarstufe I & II das Thema Klimawandel gerne im Chemieunterricht behandelt wissen? (Quelle: eigene Grafik, erstellt mit Excel)

6.2.5 Gibt es einen Aspekt der Klimaproblematik, den man unbedingt im Chemieunterricht besprechen sollte?

Sekundarstufe I

Diese Frage wurde von 24 der 55 befragten Unterstufenschüler*innen beantwortet. 8 dieser 24 Schüler*innen gaben an, dass es keinen Aspekt gibt, den man unbedingt im Chemieunterricht besprechen sollte. Drei Lernende empfanden allgemeine Aspekte als ausreichend für den Chemieunterricht, erläuterten aber nicht, was sie damit genau meinen. Der Treibhauseffekt wurde nicht erwähnt, die Besprechung verschiedener Treibhausgase gaben drei Lernenden in ihrer Antwort an. Anthropogene Einflüsse auf

die Klimaerwärmung wie die Nutzung von Plastik, die Verschmutzung der Ozeane, die Abholzung der Regenwälder und die Fleischproduktion wurde von weiteren vier Schüler*innen erwähnt. Einige Lernende (17 % der Antworten) finden außerdem, dass die möglichen Auswirkungen des Klimawandels unbedingt im Chemieunterricht besprochen werden sollten:

U3: „Die Folgen in der Zukunft wären interessant und wichtig“

U28: „Eisberge“

U40: „Artensterben, Bedrohung für den Menschen“

Zwei Schüler*innen nannten mögliche Gegenmaßnahmen bzw. Handlungen, mit denen einzelne Personen die Klimaerwärmung positiv beeinflussen können als wichtige, zu behandelnde Aspekte:

U5: „Ja und zwar Wiederverwendung“

U6: „Wie man helfen kann, ihn etwas zu stoppen.“

Eine Schülerin möchte gerne mehr darüber erfahren, „wie das Ganze angefangen hat“ (U12) und bezieht sich damit nicht auf zukünftige, sondern auf vergangene Entwicklungen auf diesem Gebiet.

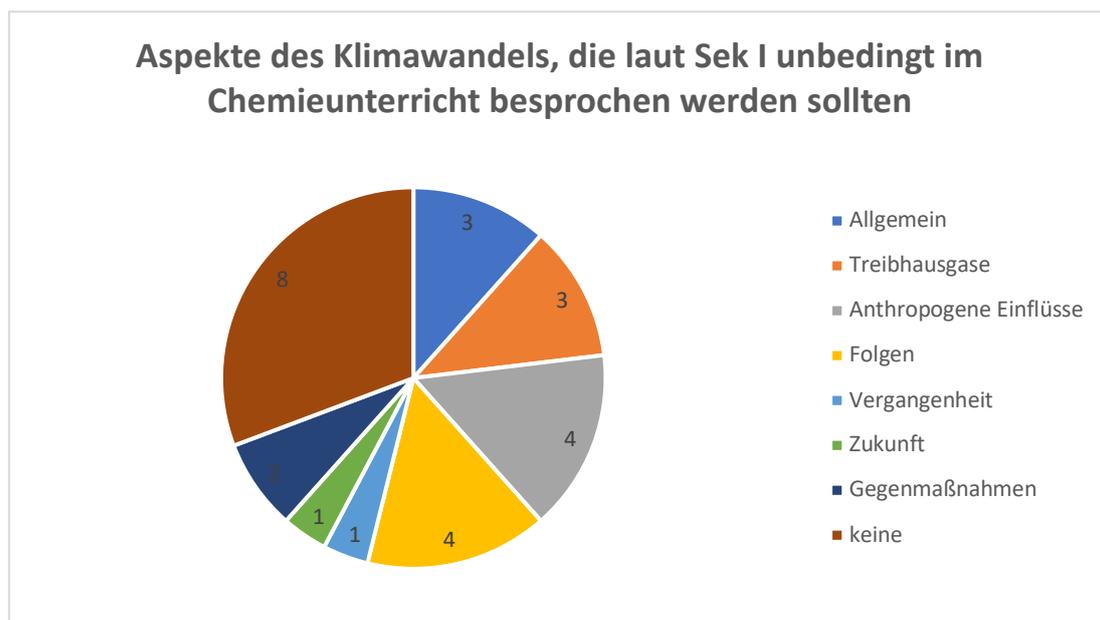


Abbildung 16: Aspekte des Klimawandels, die laut Sekundarstufe I unbedingt im Chemieunterricht besprochen werden sollten (Quelle: eigene Grafik, erstellt von Excel)

Sekundarstufe II

Von 49 der befragten Oberstufenschüler*innen beantworteten 34 die oben angeführte Frage. Sechs Schüler*innen gaben an, keine besonders wichtigen Aspekte zu kennen, die man im Chemieunterricht bearbeiten sollte. Weitere sechs Lernende (17 %) nannten in ihren Antworten allgemeine Aspekte des Klimawandels, wie beispielsweise die „chemische Seite des Klimawandels (Reaktionen usw.)“ (O11) und „Themen bezogen auf Aktualität“ (O14). Zwei dieser Schüler*innen gaben an, dass „alles“ im Chemieunterricht besprochen werden sollte. Ein Schüler möchte wissen: „Wie funktioniert das alles? Warum spielt was eine Rolle?“ (O49). Jeweils 23 % der Lernenden nannten den Treibhauseffekt und Treibhausgase in ihren Antworten.

Besonders oft wurden Ursachen und unterschiedliche (anthropogene) Einflüsse auf den Klimawandel erwähnt (in 31 % der Antworten). Die Schüler*innen beziehen sich dabei vor allem auf den industriellen Beitrag zum Klimawandel und äußern sich dem gegenüber teilweise sehr kritisch:

O10: „Industrie, Energiegewinnung“

O27: „Dass China und Dritte Welt Länder pro Tag 2 Flughäfen und 2 Kohlekraftwerke baut und es eh komplett egal ist was wir machen“

O41: „Warum Fabriken so schlecht sind“

O43: „Wie es genau funktioniert und warum meist die ganzen Firmen und Fabriken mehr Schuld haben als durchschnittliche Menschen“

14 % der Antworten beinhalten außerdem mögliche Folgen der Klimaerwärmung, darunter unterschiedliche Auswirkungen für die Menschen, „die generelle Zerstörung“ (O9) der Umwelt und der relevante Verlust an Artenvielfalt. Eine weitere oft genannte Kategorie sind Maßnahmen zur Eingrenzung des Klimawandels, welche von 26 % der Schüler*innen als wichtige, im Chemieunterricht zu besprechende Aspekte erachtet werden. Die Lernenden möchten wissen „was wir dagegen tun können“ (O18) und „wie man ihn [den Klimawandel] verhindern könnte“ (O1). Ein Schüler meint: „Ich finde es wichtig, dass man auch den gesellschaftlichen Aspekt hineinbringt“ (O13). Auffallend ist, dass eine große Anzahl an Schüler*innen auf Gegenmaßnahmen und die

Auswirkungen auf das zukünftige Leben der Menschen fokussiert ist bzw. mehr über die Ursachen des Klimawandels lernen möchte.

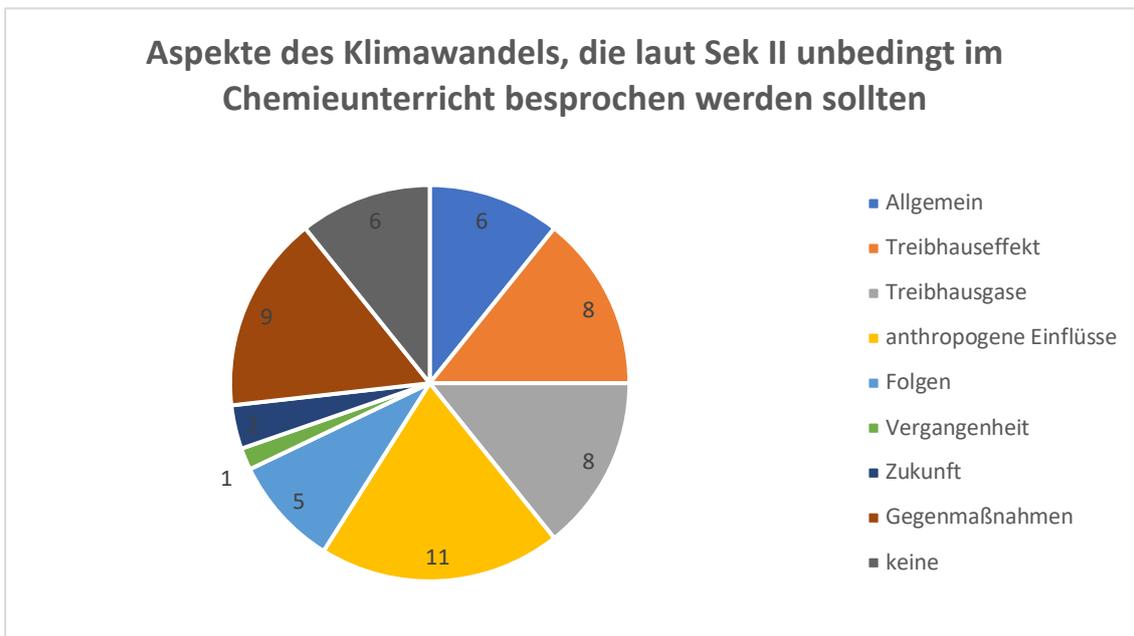


Abbildung 17: Aspekte des Klimawandels, die laut Sekundarstufe II unbedingt im Chemieunterricht besprochen werden sollten (Quelle: eigene Grafik, erstellt von Excel)

7. Ergebnisdiskussion

Der Großteil der Lernenden gab an, dass Thema Klimawandel und Klimaproblematik zwar schon im Chemieunterricht bearbeitet zu haben, allerdings nicht sehr ausführlich. Die Antworten der Lernenden können also nicht nur auf bestehende Präkonzepte und Vorstellungen zurückgeführt werden, sondern es muss auch berücksichtigt werden, dass manche Aspekte bereits zum Teil im Unterricht besprochen wurden. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass viele der angegebenen Antworten von den Vorstellungen der Lernenden direkt beeinflusst bzw. anhand dieser hervorgebracht wurden.

Fast alle Lernenden beider Schulstufen scheinen zu wissen, woher die Klimawissenschaftler*innen ihre Informationen bekommen und wie diese genutzt werden. Ebenfalls bekannt zu sein scheint der enorme Beitrag der Menschen zum Klimawandel, da über 90 % beider befragten Gruppen angaben, dass der Mensch einen großen Einfluss auf die Erderwärmung hat. Wenige Lernende meinten, dass die anthropogenen Einflüsse in gleichem Maße Einfluss haben wie die natürlichen.

Fragestellung I: Welche Vorstellungen haben Schüler*innen der Sekundarstufe I & II vom globalen Klimawandel?

Die Multiple-Choice Fragen des ersten Teils des Fragebogens wurden von den Lernenden beider Schulstufen relativ ähnlich beantwortet. Es zeigt sich, dass vor allem die Schüler*innen der Sekundarstufe II ein genaues Bild des Klimawandels und der zugehörigen Vorgänge haben. Der Großteil der Lernenden ist sich über die Herkunft der Klimadaten und den Einfluss der Menschen auf den Klimawandel (F1-F3, F7 & F8) bewusst. Die Vorstellungen zum Treibhauseffekt (F4) variieren dagegen sehr. Hier ist auffallend, dass viele der Befragten den zugrunde liegenden Vorgang mit der Ozonschicht bzw. dem Ozonloch in Verbindung setzen. Dies entspricht den Forschungsergebnissen der vorhandenen Literaturquellen (u.a. Boyes & Stanisstreet, 1997; Andersson & Wallin, 2000; Daniel, Stanisstreet, & Boyes, 2004; Österlind, 2005; Mower, 2012; Dawson & Carson, 2013; Chang, Pascua & Ess, 2018; Jarrett & Takacs, 2020), welche die Verschmelzung von Ozonloch und Treibhauseffekt als hartnäckige alternative Vorstellung vermerken. Es benötigt also eine eindeutige Differenzierung dieser beiden

Phänomene bei der Behandlung im Unterricht. Auch die aus der Literatur bekannte Schülervorstellung, den Treibhauseffekt als weitgehend negatives Phänomen anzusehen (F5), ist bei den befragten Lernenden (vor allem der Sekundarstufe I) sehr beliebt. Da der Treibhauseffekt in vielen, für alle zugänglichen Quellen mit dem voranschreitenden Klimawandel und dessen Folgen für die Erde in Verbindung gebracht wird, konzentrieren sich viele Jugendliche eher auf die negativen Aspekte desselben und vernachlässigen so die Notwendigkeit des natürlichen Treibhauseffekts für das Leben auf der Erde. Aus der Analyse geht außerdem hervor, dass eine große Zahl der Lernenden die unterschiedlichen Treibhausgase nicht kennt (F6). Es ist anzunehmen, dass Kohlenstoffdioxid im Alltag allgemein als Treibhausgas bekannt ist. Weitere Treibhausgase konnten jedoch nur von etwa der Hälfte der Lernenden als solche identifiziert werden. Hier empfiehlt es sich, diese im Unterricht genau zu besprechen und vor allem Wasserdampf als wichtigstes natürliches Treibhausgas zu thematisieren.

Mithilfe der offenen Fragen am Ende des ersten Fragebogenteils konnten weitere Vorstellungen der Lernenden zu den Folgen des Klimawandels und möglichen Gegenmaßnahmen zur Eingrenzung der voranschreitenden Veränderungen erfasst werden.

Die Analyse der Antworten zeigt, dass die Lernenden vorwiegend Veränderungen des Klimas als Folge einer globalen Temperaturerhöhung nennen. Dies lässt sich einerseits zurückzuführen auf die Wortwahl in der Fragestellung, da nahegelegt wird, dass eine Temperaturerhöhung eine Veränderung des Klimas zur Folge hat, andererseits ist dies als naheliegende Schlussfolgerung anzusehen. Jeweils die Hälfte der Lernenden der unterschiedlichen Schulstufen nennt außerdem Extremwetterereignisse als mögliche Folge einer Erhöhung der globalen Mitteltemperatur. Grund dafür könnte die Aktualität dieser Ereignisse und deren Präsenz in den Medien sein, da die weltweite Bevölkerung in den letzten Jahren immer wieder mit Umweltkatastrophen und Ereignissen wie großflächigen Bränden, Hitzewellen und Starkregenereignissen zu kämpfen hatte. Mittlerweile sind diese auch im deutschsprachigen Raum sehr verbreitet und beeinflussen das tägliche Leben der Lernenden. Die Antworten der Schüler*innen der befragten Schulstufen ähneln sich sehr, jedoch sticht heraus, dass die Veränderung von Biodiversität und Umwelt vorwiegend von Schüler*innen der elften Schulstufe erwähnt wird. Einige wenige Unterstufenschüler*innen glauben außerdem, dass eine Veränderung der Temperatur um 2 Grad Celsius keine Auswirkungen auf das Leben

auf der Erde haben wird, wobei sie sich dabei vermutlich auf das Wetter und dessen kurzfristige Veränderungen beziehen, welche meist kaum Auswirkungen auf das tägliche Leben haben. Es scheint als würde hier der Unterschied von Wetter und Klima noch nicht vollständig verstanden.

Die vorliegenden Ergebnisse decken sich überwiegend mit den in der Literatur gefundenen Forschungsergebnissen. Wie aus Shepardson et al. (2011, S. 497-498) bekannt, nennen die meisten Lernenden eher umfangreiche Folgen für die Umwelt und vernachlässigen dabei die Auswirkungen auf das eigene Leben und die Gesellschaft, wobei diese den Oberstufenschüler*innen bewusster zu sein scheinen als den jüngeren Lernenden. Dennoch ist zusammenfassend festzustellen, dass die Lernenden eine Vielzahl relevanter Folgen angeben konnten und die große Problematik einer Temperaturerhöhung um einen scheinbar geringen Wert richtig erkennen.

Bei der Analyse der zweiten offenen Frage zum Einfluss der Menschen auf den Klimawandel zeigte sich, dass der Großteil der Schüler*innen sehr viele verschiedene möglichen Maßnahmen nennen konnte, welche nach Möglichkeit im täglichen Leben angewendet werden können, um den Klimawandel einzubremsen. Die Lernenden scheinen sich über den Einfluss jedes einzelnen Menschen auf den Klimawandel bewusst zu sein. Die überwiegend umfangreichen und differenzierten Antworten der Schüler*innen weisen auf ein angemessenes Ausmaß an Wissen auf diesem Gebiet hin. Einzelne Lernende stachen besonders mit ihrer spezifischen Kenntnis der Thematik heraus, die meisten Schüler*innen nannten aber eher allgemein bekannte Maßnahmen, um den voranschreitenden Klimawandel einzubremsen. Der Einfluss von Verkehrsmitteln auf die Umwelt wurde besonders oft genannt, dicht gefolgt vom allgemeinen Konsumverhalten der Menschen. Letzteres wurde allerdings von den älteren Jugendlichen deutlich öfter erwähnt, was darauf schließen lässt, dass sie sich bereits intensiver mit diesem Aspekt auseinandergesetzt haben. Dies könnte zurückzuführen sein auf die Entwicklung der Jugendlichen und den wachsenden Wunsch nach Selbstständigkeit und Entscheidungsfreiheit, welcher sich auch in deren Konsumverhalten widerspiegelt. Außerdem erfolgt auf diesem Gebiet immer mehr Aufklärung über verschiedenste Quellen (soziale Medien, Fernsehen, Zeitungen etc.). Auffällig ist, dass die Kategorie „Ernährung“ von verhältnismäßig wenigen Schüler*innen der achten Schulstufe erwähnt wurde, jedoch knapp die Hälfte der Oberstufenschüler*innen diesen Aspekt des

täglichen Lebens als besonders wichtig empfindet. Die Bildung und der Aktivismus auf diesem Gebiet als indirekte, aber besonders wichtige Aspekte für eine hoffnungsvollere Zukunft werden von den Unterstufenschüler*innen gänzlich vernachlässigt und nur von einigen wenigen älteren Lernenden erwähnt, die sich augenscheinlich besonders für die Thematik interessieren und auch andere Menschen motivieren wollen, sich zu informieren.

Die erhaltenen Ergebnisse spiegeln größtenteils die Erkenntnisse der betrachteten Forschung auf diesem Gebiet wider. Im Gegensatz zur Studie von Daniel et al. (2004), bei der die Befragten vor allem wirtschaftliche und gesellschaftliche Maßnahmen nannten, gaben die Lernenden in dieser Forschungsarbeit eher individuelle Aspekte an. Dies kann einerseits auf die spezifische Fragestellung zurückgeführt werden, aber auch auf die mittlerweile sehr ausgeprägte, bereits erwähnte Aufklärung zu Gegenmaßnahmen und Möglichkeiten, den Klimawandel einzubremsen. Vor allem den befragten Oberstufenschüler*innen ist dennoch bewusst, dass die Eingrenzung des fortschreitenden Klimawandels ein gemeinsamer Kraftakt ist und die Politik und Wirtschaft handeln muss, um eine positive Veränderung zu erzielen. Nur sehr wenige Jugendliche weisen diese Verantwortung gänzlich von sich und übergeben sie anderen Entscheidungsträger*innen bzw. der Gesellschaft.

Fragestellung II: Wie unterscheiden sich Schülervorstellungen zum Klimawandel in den verschiedenen Schulstufen?

Die Auswertung der Daten (t-Test) zeigte signifikante Unterschiede bei einigen Antworten der Schüler*innen der Sekundarstufe I & II. Dabei handelt es sich um Antworten auf Fragen zu den ablaufenden chemischen Prozessen (Treibhauseffekt und Treibhausgasen). Die Vorstellungen der Lernenden der Sekundarstufe I entfernen sich dabei mehr von wissenschaftlichen Erkenntnissen als die der Oberstufenschüler*innen. Das kann darauf zurückgeführt werden, dass die Unterstufenschüler*innen diese Thematik nach Angaben der Lernenden zumindest überblicksmäßig besprochen und verstanden haben. Dennoch fehlt den Schüler*innen der achten Schulstufe meist das nötige chemische Grundwissen für das Verständnis dieser komplexen Vorgänge. Es stellt sich heraus, dass die Lernenden der elften Schulstufe ein ausgeprägteres Wissen auf diesem Gebiet haben. Jedoch ist darauf hinzuweisen, dass auch in der Oberstufe einige wissenschaftlich nicht korrekte Vorstellungen vorhanden sind, die vor allem die

chemischen und biologischen Prozesse des Klimawandels betreffen. Aus diesem Grund ist eine genaue Auseinandersetzung mit dem Thema im Chemieunterricht der Sekundarstufe II sehr zu empfehlen.

Fragestellung III: Welches Interesse besteht auf Seiten der Lernenden, das Thema des globalen Klimawandels im Chemieunterricht (v.a. in der Sekundarstufe II) näher zu behandeln?

Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass die Lernenden beider Schulstufen im Durchschnitt interessiert an der Thematik sind (F9) und diese generell in der Schule (F12, F13), aber vor allem auch im Chemieunterricht umfangreicher behandelt wissen wollen (F15). Die Meinungen der Oberstufenschüler*innen zum Umgang mit dem Thema Klimawandel in der Schule sind im Allgemeinen gespalten als die der Sekundarstufe I. Die Mehrheit der älteren Jugendlichen spricht sich zwar für eine Behandlung des Themas im Chemieunterricht aus, allerdings muss auch angemerkt werden, dass ein weiterer großer Teil der Lernenden findet, dass der Klimawandel und die Klimaproblematik bereits in anderen Fächern sehr umfangreich besprochen werden, sodass eine Bearbeitung im Chemieunterricht nicht zwingend notwendig ist (F14). Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Thema in der Sekundarstufe II vermehrt in anderen Schulfächern aufgegriffen und behandelt wird, die grundlegenden chemischen und biologischen Prozessen des Klimawandels werden dort allerdings kaum behandelt. Eine weitere Ursache dafür könnte sein, dass die Lernenden zusätzlichen Unterrichtsstoff (auch in Bezug auf die Leistungsbeurteilung) möglichst vermeiden wollen. Da diese aber ausschlaggebend für ein besseres Verständnis aller zugehörigen Prozesse und Zusammenhänge sind, ist anzuraten, das Thema dennoch im Chemieunterricht zu besprechen. Schlussendlich muss auch festgestellt werden, dass die erhobenen Daten zwar eine Streuung in den Meinungen veranschaulichen, jedoch können weder die Grundlage, auf der diese beruhen, noch die in anderen Schulfächern abgedeckten Inhalte erfasst werden.

Fragestellung IV: Woher bekommen die Lernenden ihre Informationen (Schule, Internet, soziale Medien etc.)? Welche Relevanz hat hierbei der Chemieunterricht?

Eine bedeutende Informationsquelle für Fakten zum Klimawandel ist laut Schüler*innen beider Schulstufen die Schule, was darauf hinweist, dass die Lernenden sich mit dem Thema sehr wohl im Schulunterricht auseinandersetzen. Da soziale Medien einen großen Teil der Freizeit der Jugendlichen ausmachen, ist es nicht verwunderlich, dass diese für die Jugendlichen als wichtige Informationsquelle gelten. Fraglich ist jedoch, ob die dort verbreiteten Fakten wissenschaftlich korrekt sind. Interessant ist, dass Dokumentationen auf Streamingplattformen eher von Schüler*innen der Sekundarstufe II als Quelle verwendet werden und Fernsehen und Radio vermehrt von Unterstufenschüler*innen genutzt werden. Es kann festgestellt werden, dass vor allem die älteren Jugendlichen ihre Informationen prinzipiell über Internetquellen erhalten, da sie vermutlich mehr Zugriff darauf haben als jüngere Kinder. Außerdem zeigt sich, dass die befragten Schüler*innen im Allgemeinen mehr Informationen von fremden Quellen erhalten, nicht aber von Familie und Freunden.

Die Lernenden nennen eine Vielzahl von Unterrichtsfächern, in denen ihrer Meinung nach der Klimawandel bearbeitet wird. Auffallend ist, dass das Fach Chemie von den Unterstufenschüler*innen am häufigsten genannt wird, allerdings nur ein Drittel der Lernenden der Sekundarstufe II das Unterrichtsfach in ihren Antworten nennt. Die Ergebnisse korrespondieren mit dem Lehrplan der AHS (Bundesministerium für Bildung, 2021), welcher in der Sekundarstufe II das Thema Klimawandel im Chemieunterricht nicht vorsieht, sondern nur indirekt in den allgemeinen Bildungszielen erwähnt (siehe Kapitel 1.2.1 Lehrplan). Da es sich bei den Befragten allerdings um zwei Schulklassen handelt, in denen alle Schüler*innen jeweils dieselben Schulfächer besuchen, ist es erstaunlich, dass die Antworten so variieren. Das lässt darauf schließen, dass die Wahrnehmung der Lernenden und deren Verständnis von der Bearbeitung bzw. Besprechung eines Themas sehr unterschiedlich sind.

Fragestellung V: Wie möchten die Lernenden die Thematik im Chemieunterricht behandelt wissen?

Allgemein konnte festgestellt werden, dass die Schüler*innen meist mehrere oder sogar alle möglichen Unterrichtsmethoden auswählten, die im Fragebogen vorgegeben waren. Dies lässt einerseits darauf schließen, dass die Wahl der Methode für die Bearbeitung des Klimawandels im Chemieunterricht nicht so wichtig ist wie erwartet.

Andererseits zeigt sich, dass die Lernenden die Thematik nicht mit einer, sondern mit unterschiedlichen Methoden erarbeiten wollen und eine gewisse Methodenvielfalt von den Schüler*innen beider befragten Schulstufen eindeutig erwünscht ist.

Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass die Lernenden an vielen verschiedenen Aspekten des Klimawandels interessiert sind. Die Lernenden der 8. Schulstufe wollen mehr über den Ist-Zustand und über mögliche Folgen des Klimawandels erfahren und finden, dass vor allem Treibhausgase und anthropogene Einflüsse im Chemieunterricht behandelt werden sollen. In den Antworten der Sekundarstufe II wird neben den Treibhausgasen auch der Treibhauseffekt als wichtiger zu bearbeitender Aspekt genannt, welcher von den Unterstufenschüler*innen überraschenderweise gar nicht erwähnt wird. Die befragten Oberstufenschüler*innen finden ebenfalls, dass unterschiedliche anthropogene Einflüsse auf den Klimawandel im Chemieunterricht thematisiert werden sollten. Es zeigt sich außerdem, dass die älteren Jugendlichen mehr über mögliche Gegenmaßnahmen wissen möchten und das Thema somit eher lösungsorientiert bearbeiten wollen. Es wird abermals deutlich, dass sich die Schüler*innen beider Schulstufen über den Einfluss der Menschen auf das sich verändernde Klima bewusst sind. Die Lernenden wissen über die Problematik Bescheid und möchten mehr über Möglichkeiten wissen, den voranschreitenden Klimawandel einzugrenzen.

8. Fazit

Die Ergebnisse dieser Arbeit geben einen Einblick in die Vorstellungen der Schüler*innen der Sekundarstufe I & II zum Thema Klimawandel und Klimaproblematik aus chemischer Sicht. Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Vorstellungen der Schüler*innen zum Klimawandel sehr unterschiedlich und individuell sind, aber ein großer Teil der erhobenen Vorstellungen als wissenschaftlich und nur teilweise unvollständig eingeordnet werden kann. Fachlich falsche Vorstellungen wurden von einem verhältnismäßig geringen Teil der Befragten vertreten.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass die Schüler*innen beider Schulstufen großes Interesse am Klimawandel und der Klimaproblematik zeigen und es vor allem den Lernenden der Sekundarstufe II wichtig ist, dieses Thema in der Schule bzw. im Chemieunterricht mittels unterschiedlichster Methoden zu bearbeiten. Diese Ergebnisse entsprechen der zuvor analysierten Literatur und ergeben damit zusammen mit anderen aktuellen Forschungsergebnissen ein stimmiges Bild.

Aus den vorliegenden Daten kann geschlossen werden, dass eine eingehendere Befassung mit den Themen Klimawandel und Klimaproblematik im Chemieunterricht im Sinne der Schüler*innen beider Schulstufen ist, jedoch die bestehenden, teilweise fehlerhaften Schülervorstellungen unbedingt erhoben und in die Unterrichtsplanung mit eingebunden werden sollten, um einen schlüssigen und zutreffenden Überblick über die Thematik zu gewinnen.

Es ist hervorzuheben, dass die erhaltenen Daten nicht mit den momentanen Lehrplänen der AHS (Bundesministerium für Bildung, 2021) übereinstimmen, welche die konkrete Behandlung des Klimawandels im Chemieunterricht der Oberstufe nicht vorsehen. Da dies aber offensichtlich von den Lernenden erwünscht ist und die Bearbeitung der grundlegenden chemischen und biologischen Vorgänge sowie möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf das Ökosystem fördernd für ein ausgewogenes und umfangreiches Allgemeinwissen ist, wäre eine Überarbeitung der Lehrpläne in diese Richtung angemessen.

Die erhobenen Daten spiegeln zwar sehr deutlich die bisher durchgeführten Studien wider, jedoch ist an dieser Stelle anzumerken, dass die Ergebnisse auf eine sehr kleine Stichprobe (N = 104) zurückzuführen sind und die befragten Schüler*innen jeweils zwei Schulklassen der Sekundarstufe I und II aus zwei Wiener Schulen entstammen. Um einen umfangreicheren bzw. ausführlicheren Überblick der Schülervorstellungen zum Thema Klimawandel im Chemieunterricht zu erhalten, sollte die Befragung mit einer größeren Zahl Lernender durchgeführt und die Studie im Allgemeinen größer ausgelegt werden. Ein weiterer Punkt, der das Ausmaß dieser Arbeit gesprengt hätte, aber dennoch sehr interessante Einblicke in die Thematik liefern würde, wäre eine Befragung der Lehrkräfte über den Wissensstand und die Vorstellungen der Schüler*innen und einen anschließenden Vergleich mit den erhobenen Schülerdaten.

Literaturverzeichnis

- Österlind, K. (2005). Concept formation in environmental education: 14-year olds' work on the intensified greenhouse effect and the depletion of the ozone layer. *International Journal of Science Education*, 27(8), S. 891-908.
- Andersson, B., & Wallin, A. (2000). Students' understanding of the greenhouse effect, the societal consequences of reducing CO₂ emissions and the problem of ozone layer depletion. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), S. 1096-1111.
- APCC. (2014). *Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 AAR14: Panel on Climate Change*. Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S., & Marohn, A. (2018). Schülervorstellungen. In *Chemiedidaktik kompakt* (S. 11-58). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Behrendt, H., & Reiska, P. (2001). Abwechslung im Naturwissenschaftsunterricht mit Concept Mapping. *PLUS LUCIS*, 1, S. 9-12.
- Boon, H. (2009). Climate change? When? Where? *Australian Educational Researcher*, 36(3), S. 43-60.
- Bord, R., O'Connor, R., & Fischer, A. (2000). In What Sense Does the Public Need to Understand Global Climate Change? *Public Understanding of Science*, 9(3), S. 205-218.
- Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1997). Children's models of understanding of two major global environmental issues (ozone layer and greenhouse effect). *Research in Science & Technological Education*, 15(1), S. 19-28.
- Bundesministerium für Bildung. (2021). *Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne - allgemeinbildende höhere Schulen*. Abgerufen am 2021 von <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568>

- Chang, C.-H., & Pascua, L. (2016). Singapore students' misconceptions of climate change. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 25(1), S. 84-96.
- Chang, C.-H., Pascua, L., & Ess, F. (2018). Closing the "Hole in the Sky": The Use of Refutation-Oriented Instruction to Correct Students' Climate Change Misconceptions. *Journal of Geography*, 117(1), S. 3-16.
- Chhokar, K., Dua, S., Taylor, N., Boyes, E., & Stanisstreet, M. (2012). Senior secondary Indian students' views about global warming, and their implications for education. *Science Education International*, 23(2), S. 133-149.
- Daniel, B., Stanisstreet, M., & Boyes, E. (2004). How can we best reduce global warming? School students' ideas and misconceptions. *International Journal of Environmental Studies*, 61(2), S. 211-222.
- Dawson, V., & Carson, K. (2013). Australian secondary school students' understanding of climate change. *Teaching Science*, 59(3), S. 9-14.
- Duit, R. (2007). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In E. Kircher, R. Girwidz, & P. Häußler, *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (S. 581-606). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Duit, R., Wilhelm, T., Hopf, M., & Schecker, H. (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Fendt, T. (2019). *Schülervorstellungen im Zentrum des Unterrichtsgesprächs: Ko-konstruktive Lernprozesse im Chemieunterricht*. Bamberg: University Press.
- Franz, M. (2017). *Klima, Klimawandel: Fragen, Missverständnisse und Fehlinformationen*. Graz: Diplomarbeit.
- Gropengießer, H., & Marohn, A. (2018). Schülervorstellungen und Conceptual Change. In *Theorien in der naturwissenschaftlichen Forschung* (S. 49-67). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Haimberger, L., Seibert, P., Hitzemberger, R., Steiner, A., & Weihs, P. (2014). Das globale Klimasystem und Ursachen des Klimawandels. In Austrian Panel on Climate Change (APCC), *Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14)* (S. 137-172). Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.
- Hauck, M., Leuschner, C., & Homeier, J. (2019). *Klimawandel und Vegetation - Eine globale Übersicht*. Berlin, Heidelberg: Springer.

- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*(30), S. 141-158.
- Hirsch, A., Roychoudhury, A., & Shepardson, D. (2017). *Teaching and learning about climate change: A framework for educators*. New York: Routledge.
- Hulme, M. (2020). *Contemporary Climate Change Debates: A Student Primer*. New York: Routledge.
- IPCC. (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (J. Y. [Houghton, Hrsg.]) Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- IPCC. (2007). Klimaänderung 2007: Häufig gestellte Fragen und Antworten [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor und H.L. Miller (eds.)]. In *Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen, Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC), Deutsche Übersetzung durch die deutsche IPCC-Koordinierungsstelle*. Cambridge & New York: Cambridge University Press.
- 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*. Cambridge & New York: Cambridge University Press.
- IPCC. (2014). *Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)*. (R. Pachauri, & L. Meyer, Hrsg.) Genf.
- Jarrett, L., & Takacs, G. (2020). Secondary students' ideas about scientific concepts underlying climate change. *Environmental Education Research*, 26(3), S. 400-420.
- Jung, W. (1981). Assoziationstests und verwandte Verfahren. In R. Duit, W. Jung, & H. Pfundt, *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht* (S. 196-222). Köln: Aulis.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), S. 3-18.

- Keogh, B., & Naylor, S. (1999). Concept cartoons, teaching and learning in science: an evaluation. *International Journal of Science Education*, 21(4), S. 431-446.
- Kilinc, A., Boyes, E., & Stanisstreet, M. (2011). Turkish School Students and Global Warming: Beliefs and Willingness to Act. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 7(2), S. 121-134.
- Klimabündnis Österreich, & Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. (2019b). *Klimafakten.Klimawandel - Vom Wissen zum Handeln*. Wien.
- Koulaidis, V., & Christidou, V. (1999). . Models of students' thinking concerning the greenhouse effect and teaching implications. *Science Education*, 83(5), S. 559-576.
- Lee, G., & Byun, T. (2012). An explanation of the difficulty of leading conceptual change using a counterintuitive demonstration: the relationship between cognitive conflict and responses. *Research in Science Education*, 42(5), S. 943-965.
- Lombardi, D., Sinatra, G., & Nussbaum, E. (2013). Plausibility reappraisals and shifts in middle school students' climate change conceptions. *Learning and Instruction*, 27, S. 50-62.
- Magyar, R., Jelinek, G., & Faber, W. (2011). *Elemente*. Wien: öbv.
- Magyar, R., Liebhart, W., Jelinek, G., & Faber, W. (2014). *Stoffe*. Wien: öbv.
- Magyar, R., Liebhart, W., Jelinek, G., Faber, W., & Strnad, A. (2020). *ELMO*. Wien: öbv.
- Mauthner, C. (2010). *Schülervorstellungen zum Klimawandel als Basis für einen schülerorientierten Chemieunterricht: Eine empirische Studie in einer Klasse der 8. Schulstufe*. Wien: Diplomarbeit.
- Mower, T. (2012). Climate change in the curriculum: Are all young people informed and inspired? *Earth & Environment*, 8(1), S. 1-37.
- Niebert, K., & Gropengießer, H. (2014). Understanding the Greenhouse Effect by Embodiment – Analysing and Using Students' and Scientists' Conceptual Resources. *International Journal of Science Education*, 36(2), S. 277-303.
- Posner, G., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accomodation of scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), S. 211-227.
- Rechtsinformationssystem des Bundes. (2021). *Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen*. Von

<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568> abgerufen

- Roedel , W., & Wagner, T. (2017). *Physik unserer Umwelt: Die Atmosphäre* . Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rohrbach-Lochner, F. (2019). *Design-Based Research zur Weiterentwicklung der chemiedidaktischen Lehrerbildung zu Schülervorstellungen*. Berlin: Logos.
- Schreiner, C., Henriksen, E., & Kirkeby Hansen, P. (2005). Climate education: Empowering today's youth to meet tomorrow's challenges. *Studies in Science Education*, 41, S. 3-50.
- Shepardson, D., Niyogi, D., Choi, S., & Charusombat, U. (2011). Students' conceptions about the greenhouse effect, global warming, and climate change. *Climatic Change*, 104, S. 481-507.
- Skamp, K., Boyes, E., & Stanisstreet, M. (2013). Beliefs and Willingness to Act About Global Warming: Where to Focus Science Pedagogy? *Science Education*, 97(2), S. 191-217.
- Wöhrle, D. (2021). Kohlenstoffkreislauf und Klimawandel: Die Rolle von Kohlenstoffdioxid und die Bedeutung der Klimagase. *Chemie in unserer Zeit*, 55(2), S. 112-124.
- Wadmans, P. (2020). Der Treibhauseffekt. In *Abschied vom Eis* (S. 75-101). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Zeilik, M. (kein Datum). *Conceptual Diagnostic Tests*. Von <http://www.flaguide.org/extra/download/cat/diagnostic/diagnostic.pdf> abgerufen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Komponenten des Klimasystems, ihrer Prozesse und Wechselwirkungen (IPCC, 2007, S.6).....	5
Abbildung 2: Klimarückkopplungen und Zeitskalen, in denen diese ablaufen. Positive Rückkopplungen (+) und negative Rückkopplungen (-) sowie Rückkopplungen, die positiv und negativ wirken können (IPCC, 2013, S. 128)	12
Abbildung 3: Wellenlängenbereiche der Absorptionen von Treibhausgasen bzw. klimawirksamen Gasen (O ₃) im IR-Bereich (Wöhrle, 2021, S. 119).....	13
Abbildung 4: Zeitreihe der beobachteten anthropogenen globalen CO ₂ -Emissionen in Gt C/Jahr, sowie deren Speicherung in Atmosphäre, Ozean und Land (Haimberger et al., 2014, S. 151)	18
Abbildung 5: Globale mittlere Treibhausgaskonzentrationen der letzten 2000 Jahre (Wöhrle, 2021, S. 121)	20
Abbildung 6: Folgen des Klimawandels (IPCC, 2014, S. 7)	22
Abbildung 7: Zeitreihe des mittleren globalen Meeresspiegels in der Vergangenheit und Projektionen für die Zukunft (IPCC, 2007, S. 23)	24
Abbildung 8: Der Treibhauseffekt im Schulbuch Stoffe (Magyar et al., 2014, S.124)	29
Abbildung 9: Fachdidaktisches Triplet: Beziehungsgefüge der Teilaufgaben im Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997, S. 4).....	37
Abbildung 10: Unterschiedliche Vorverständnisse führen zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen (Duit, Wilhelm, Hopf, & Schecker, 2018, S. 9).....	37
Abbildung 11: Modelle zur Beschreibungen des Treibhauseffektes von Schüler*innen (Andersson & Wallin 2000, S. 1103)	40
Abbildung 12: Signifikante Rangkorrelationen nach Spearman berechnet anhand der Daten zum persönlichen Umgang mit Klimawandel und Klimaproblematik (Grafiken erstellt mit SPSS)	73
Abbildung 13: Woher beziehen die Schüler*innen der Sekundarstufe I & II ihre Informationen zum Klimawandel? (Quelle: Eigene Grafik, erstellt mit Excel).....	74
Abbildung 14: In welchen Fächern wurde das Thema Klimawandel & Klimaproblematik laut Sekundarstufe I & II besprochen? (Quelle: eigene Grafik, Excel)	76
Abbildung 15: Wie würden die Schüler*innen der Sekundarstufe I & II das Thema Klimawandel gerne im Chemieunterricht behandelt wissen? (Quelle: eigene Grafik, erstellt mit Excel)	77

Abbildung 16: Aspekte des Klimawandels, die laut Sekundarstufe I unbedingt im Chemieunterricht besprochen werden sollten (Quelle: eigene Grafik, erstellt von Excel)	78
Abbildung 17: Aspekte des Klimawandels, die laut Sekundarstufe II unbedingt im Chemieunterricht besprochen werden sollten (Quelle: eigene Grafik, erstellt von Excel)	80

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammensetzung der wasserdampffreien Erdatmosphäre (Roedel & Wagner, 2017, S. 15)	6
Tabelle 2: Allgemeine Informationen zu den befragten Lernenden	49
Tabelle 3: Zusammenfassung Ergebnisse Frage 1	50
Tabelle 4: Zusammenfassung Ergebnisse Frage 2	51
Tabelle 5: Zusammenfassung Ergebnisse Frage 3	52
Tabelle 6: Zusammenfassung Ergebnisse Frage 4	53
Tabelle 7: Zusammenfassung Ergebnisse Frage 5	54
Tabelle 8: Zusammenfassung Ergebnisse Frage 6	55
Tabelle 9: Zusammenfassung Ergebnisse Frage 7	55
Tabelle 10: Zusammenfassung Ergebnisse Frage 8	56
Tabelle 11: Ergebnisse des t-Test zu Fragestellung II (N = Stichprobe)	57
Tabelle 12: Zusammenfassung der Ergebnisse der Likert-Skala (Sekundarstufe I) .	71
Tabelle 13: Zusammenfassung der Ergebnisse der Likert-Skala (Sekundarstufe II) .	71
Tabelle 14: Ergebnisse des t-Test zu Fragestellung III (N = Stichprobe)	72

Anhang

FRAGENBOGEN ZUM KLIMAWANDEL

Mit dem folgenden Fragebogen werden Daten betreffend Klimawandel und Klima-problematik im Chemieunterricht erhoben. Er dient zum Verfassen meiner Masterarbeit. Alle Angaben werden **vertraulich und anonym** behandelt. Bitte fülle den Fragebogen gewissenhaft und genau aus. Vielen Dank für deine Hilfe!

Alter:	
Geschlecht:	<input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/> weiblich <input type="checkbox"/> nicht-binär
Klasse:	<input type="checkbox"/> 4. Klasse (8.Schulstufe) <input type="checkbox"/> 7. Klasse (11. Schulstufe) <input type="checkbox"/> 8. Klasse (12. Schulstufe)
Schule:	
Zweig/Schwerpunkt:	
Notendurchschnitt (gerundet) der naturwissenschaftlichen Fächer im Halbjahreszeugnis	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
Thema Klimawandel bereits im Chemieunterricht behandelt	<input type="checkbox"/> Ja, sehr ausführlich <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, aber nicht sehr ausführlich
Datum:	

Erster Teil: Fragen zum Thema Klimawandel

Kreuze bitte **jeweils eine** Antwort an:

1. Woher wissen wir, dass sich die Erde erwärmt?
 - Durch immer heißer werdende Sommermonate
 - Durch Messungen, Klimamodelle und Analyse des Klimas der vergangenen Jahrhunderte
 - Durch Klima-Experimente in Laboren
 - Es wird von Wissenschaftler*innen behauptet, aber wir wissen es nicht genau.
2. Wie tragen menschliche Aktivitäten zum Klimawandel bei?
 - Der Mensch hat keinen Einfluss auf die Erderwärmung.
 - Der Mensch hat nur einen geringen Einfluss auf die Erderwärmung, da die Industrie mittlerweile sehr darauf achtet, Abgase zu reduzieren.
 - Der Mensch beeinflusst die Erderwärmung in gleichem Maß wie natürliche Faktoren.
 - Der Mensch hat einen großen Einfluss auf die Erderwärmung durch verschiedene Aspekte wie die Verbrennung von fossilen Brennstoffen, die Abholzung der Regenwälder, ...

3. Ist der gegenwärtige Klimawandel ungewöhnlich, verglichen mit früheren Änderungen in der Erdgeschichte?
- NEIN, ist gar nicht ungewöhnlich, die Menschen dramatisieren das nur.
 - NEIN, ist nicht ungewöhnlich, da es in der Vergangenheit auch schon solche rasanten Klimaveränderungen gab.
 - JA, ist ungewöhnlich, da es zwar in der Vergangenheit auch schon Klimaveränderungen gab, aber diese nicht vergleichbar sind mit der Geschwindigkeit der derzeit stattfindenden Veränderungen.
 - JA, ist ungewöhnlich, da es in der Vergangenheit nur Eiszeiten gab und keine globale Erderwärmung.
4. Was versteht man unter dem Treibhauseffekt?
- Treibhausgase zerstören die Ozonschicht, wodurch mehr UV-Strahlung aus dem Weltall auf die Erde trifft und diese so erwärmt wird.
 - Die Strahlung der Sonne, die auf die Erde trifft, wird dort teilweise reflektiert und sollte wieder zurück ins Weltall gelangen. Die Ozonschicht reflektiert die von der Erde abgegebene Strahlung aber wieder zurück auf die Erde und so erwärmt sie sich.
 - Die Strahlung der Sonne, die auf die Erde trifft, wird dort teilweise reflektiert und sollte wieder zurück ins Weltall gelangen. Die Treibhausgase in der Atmosphäre nehmen einen Teil dieser Strahlung auf und geben diese wieder an ihre Umgebung ab. Dadurch steigt die Temperatur der Atmosphäre bzw. der Erde.
 - Der Treibhauseffekt ist die Produktion von Treibhausgasen.
5. Welche Aussage zum Treibhauseffekt trifft zu? Gäbe es den Treibhauseffekt nicht...
- ... wäre Leben auf der Erde nicht möglich.
 - ... hätten wir kein Problem mit dem Klima.
 - ... wäre es am Nord- und Südpol wärmer und am Äquator kälter.
 - ... würde es mehr Artenvielfalt geben.
6. Welches der folgenden Gase ist KEIN Treibhausgas?
- Kohlenstoffdioxid CO₂
 - Sauerstoff O₂
 - Methan CH₄
 - Wasserdampf H₂O
7. Was trägt NICHT zur globalen Erderwärmung bei?
- Verbrennung von fossilen Brennstoffen
 - Land- und forstwirtschaftliche Nutzung (Viehzucht, Ackerbau)
 - Nutzung von Solarenergie
 - Abholzung der Wälder
8. Welche Auswirkungen wird der Klimawandel voraussichtlich auf die Erde haben?
- Der Klimawandel wird große Auswirkungen auf unser Leben und die Umwelt haben (zB. Es wird mehr Umweltkatastrophen geben).
 - Es wird generell einfach wärmer, ansonsten keine Veränderungen
 - Man weiß es nicht.
 - Keine.

9. Nehmen wir an, die globale Temperatur steigt in den nächsten zehn Jahren um 2°C. Welche Auswirkungen könnte das auf das Leben auf der Erde haben? Nenne drei Aspekte!

10. Was kannst du in deinem täglichen Leben tun, um die weitere Entwicklung auf das Klima bzw. die Klimaerwärmung positiv zu beeinflussen? Nenne drei Aspekte!

Zweiter Teil: Persönlicher Umgang mit dem Thema Klimawandel

11. Kreuze bitte zutreffendes an (nur eine Wahl pro Zeile möglich)!

<i>1 = trifft nicht zu, 2 = trifft eher nicht zu, 3 = trifft eher zu, 4 = trifft zu</i>	1	2	3	4
Mein Interesse an der Klimaproblematik ist sehr groß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kenne mich sehr gut mit dem Thema aus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich achte sehr auf meinen Einfluss auf die Umwelt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mir ist es sehr wichtig, neue Erkenntnisse zu diesem Thema in der Schule zu lernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Thema wird in der Schule genügend behandelt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Thema muss NICHT unbedingt im Chemieunterricht bearbeitet werden, da man in anderen Fächern schon genug darüber lernt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich würde mir wünschen, dass das Thema Klimawandel ausführlicher im Chemieunterricht besprochen wird.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eine genauere Kenntnis über das Thema Klima und Klimawandel ist sehr wichtig für mein zukünftiges Leben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

12. Woher beziehst du deine Informationen zum Thema Klimawandel? Zutreffendes bitte ankreuzen (auch mehrfache Wahl möglich):

- Schule
- Familie
- Freunde
- Soziale Medien (Instagram, Twitter etc.)
- Internet(quellen)
- Dokumentationen auf Streamingplattformen (Netflix, Amazon prime etc.)
- Fernsehen und Radio
- Zeitungen und Zeitschriften
- Sonstige: _____

13. Wie würdest du das Thema Klimawandel gerne im Chemieunterricht behandelt wissen? Zutreffendes bitte ankreuzen (auch mehrfache Wahl möglich).

- Experimente
- Dokumentationen
- Exkursionen
- Expertenvorträge
- Sonstige: _____

14. Gibt es einen Aspekt der Klimaproblematik, den man deiner Meinung nach UNBEDINGT im Chemieunterricht besprechen sollte?

9. Zusammenfassung

Der Klimawandel und die Klimaproblematik sind zentrale Themen der heutigen Gesellschaft und in unserem Alltag präsenter denn je. Daraus folgt, dass es unzählige Vorstellungen und Konzepte zu den ablaufenden Prozessen, Folgen und möglichen Gegenmaßnahmen gibt, die oft nicht fachlich korrekt sind. Der naturwissenschaftliche Unterricht hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Lernenden über diese Themen aufzuklären und zu unterrichten. Die Erhebung und Berücksichtigung von Schülervorstellungen zu diesem Thema sind neben anderen Faktoren ausschlaggebend für einen erfolgreichen Lernprozess. Nur so kann auf vorhandene Präkonzepte Bezug genommen und von fehlerhaften auf fachlich korrekte Vorstellungen überleitet werden.

Um einen Einblick in die Thematik der Schülervorstellungen zum Klimawandel zu geben, wurde zuerst Basiswissen zum Klimawandel vorgestellt, welches unter anderem die Erläuterung der chemischen und biologischen Prozesse, die erwarteten Folgen und möglichen Gegenmaßnahmen zur Eingrenzung der voranschreitenden klimatischen Veränderungen beinhaltet. Außerdem werden der Stand der didaktischen Forschung zu Schülervorstellungen und deren Rolle im naturwissenschaftlichen Unterricht veranschaulicht. Im Anschluss werden einige ausgewählte Studien zu Schülervorstellungen zum Klimawandel vorgestellt, um einen Einblick in den aktuellen Forschungsstand auf diesem Gebiet zu geben.

Den größten Teil der Arbeit nimmt die durchgeführte Fragebogenstudie und ihre Analyse ein. Dabei wurden Schülervorstellungen zum Thema Klimawandel im Chemieunterricht von Schüler*innen der Sekundarstufe I und II aus zwei Wiener Schulen in Form einer Fragebogenstudie erhoben. Zusätzlich wurden Interesse der Schüler*innen an der Thematik, Relevanz des Themas in der Schule sowie bevorzugte Methoden und Themen für den Chemieunterricht erfasst. Diese umfangreiche Datenerhebung wurde durchgeführt, um sowohl vorhandene Vorstellungen als auch die Rahmenbedingungen für die Bearbeitung des Themas im Chemieunterricht zu erfassen.

Die vorliegenden Daten zeigen ein großes Spektrum an unterschiedlichen Schülervorstellungen, wobei wenige, aber dennoch eindeutige Unterschiede zwischen solchen der befragten 8. und 11. Schulstufe erkennbar sind. Vor allem in der Sekundarstufe II

sind die grundlegenden Prozesse, Folgen und Gegenmaßnahmen bekannt und spiegeln sich in den Schülervorstellungen wider. Dennoch konnte bei den komplexen chemischen Abläufen wie dem Treibhauseffekt eine größere Zahl an alternativen Vorstellungen ermittelt werden. Das Interesse an der Thematik sowie der Wille, diese in der Schule und besonders im Chemieunterricht zu bearbeiten ist bei den befragten Schüler*innen beider Schulstufen sehr groß. Anhand der Forschungsergebnisse konnte somit die Relevanz der Schülervorstellungen zum Klimawandel für das Verständnis der Lernenden sowie für den naturwissenschaftlichen Unterricht veranschaulicht werden.

10. Abstract

Climate change and the climate problem are central topics of today's society and more present in our everyday lives than ever before. As a result, there are countless ideas and concepts about the processes taking place, consequences, and possible countermeasures, which are often not technically correct. Science education has taken on the task of educating and teaching learners about these issues. The elicitation and consideration of student conceptions on this topic, along with other factors, are crucial to a successful learning process. Only in this way can reference be made to existing pre-concepts and a transition be made from erroneous to more technically correct conceptions.

In order to provide an insight into the topic of student perceptions of climate change, basic knowledge about climate change was first presented, which includes an explanation of the chemical and biological processes, the expected consequences and possible countermeasures to limit the advancing climatic changes. In addition, the state of didactic research on student conceptions and their role in science education is illustrated. Subsequently, some selected studies on student conceptions of climate change will be presented to provide insight into the current state of research in this field.

The largest part of the work is taken up by the questionnaire study conducted and its analysis. In a questionnaire study, students' perceptions of the topic of climate change in chemistry lessons were collected from students of secondary level I and II from two Viennese schools. In addition, students' interest in the topic, relevance of the topic in school, and preferred methods and topics for chemistry lessons were recorded. This extensive data collection was carried out in order to record both existing ideas and the framework conditions for dealing with the topic in chemistry lessons.

The available data show a wide range of different student conceptions, with few but nevertheless clear differences between those in the 8th and 11th grades surveyed. Especially at the upper secondary level, the basic processes, consequences and countermeasures are well known and reflected in the student conceptions. Nevertheless, a larger number of alternative conceptions could be identified for the complex chemical processes such as the greenhouse effect. The interest in the topic as well as the will

to work on it in school and especially in chemistry class is very high among the interviewed students of both school levels. Based on the research results, the relevance of the students' ideas about climate change for the understanding of the students as well as for the science lessons could be illustrated.