



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Unterrichtskonzept zum Thema Klimawandel im
Physikunterricht der elften Schulstufe“

verfasst von / submitted by

Dr. Ruth-Sophie Taubner, Bakk. MSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat)

Wien, 2020 / Vienna, 2020

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 190 412 406

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UF Physik UF Mathematik

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

Prof. Mag. Dr. Ilse Bartosch

Danksagung

Zunächst möchte ich meinen Betreuenden, Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf und Prof. Dr. Ilse Bartosch, für ihre Unterstützung danken. Vielen Dank an Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf, dass er so kurzfristig einer Betreuung zugestimmt hat. Besonderen Dank an Prof. Dr. Ilse Bartosch für die sehr gute direkte Betreuung vor und während des Schreibprozesses und für die vielen Änderungs- und Verbesserungsvorschläge, die schließlich zu dieser umfangreichen Diplomarbeit geführt haben.

Vielen Dank an meine FAP-Mentorin, Mag. Andrea Hauff-Achleitner, und an ihre Kollegin Mag. Sarah Wildbichler. Es war eine super Zeit mit euch während des Praktikums. Ich habe viel gelernt und schließlich entstand aus dem Praktikum sogar diese Diplomarbeit.

Vielen Dank an meine Chefs, Univ.-Prof. Dr. Christa Schleper und Dr. Simon Rittmann, vom Department für Funktionelle und Evolutionäre Ökologie, die immer wieder eine Auge zuge drückt haben, wenn ich für das Studium mal wieder eine Übung oder ein Praktikum besuchen oder für eine Prüfung lernen musste. Ohne diese Freiheiten wäre wohl ein Studienabschluss nie möglich gewesen.

Ich möchte mich ganz herzlichst bei meinem Fußball-Team, den Dornbach Sox bedanken. Bei euch konnte ich immer raunzen, wenn's mal stressig war und egal wie anstrengend der Tag oder die Woche war, nach dem Training, Match, oder einer Grillparty mit euch war wieder alles gut!

Ein ganz großes Dankeschön an meine Familie. Ihr habt mich bei meiner absurden Idee unterstützt neben dem Doktorat noch ein Lehramtsstudium durchzuziehen. Ohne diese Unterstützung, eurem Verständnis und eurer Liebe wäre das bestimmt nicht möglich gewesen. Ein ganz besonderer Dank geht auch an Sarah Langer, die sich auf der Suche nach Grammatik- und Rechtschreibfehlern durch diese Arbeit gekämpft hat.

Und schließlich: Vielen Dank an alle, die sich für den Klimaschutz einsetzen- egal ob beim Recyclen im eigenen Haushalt, bei den Demos für *Fridays for Future*, als GrundlagenforscherIn zum Thema erneuerbare Energien, als politischeR Entschei-

dungsträgerIn oder im Vorstand großer Firmen. Wir stehen vor einem kritischen Punkt der Menschheitsgeschichte und nur gemeinsam kann hier die große Katastrophe noch verhindert werden! *Whose future? Our future!*

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	vii
1 Motivation	1
2 Dimensionen des Klimawandels	3
2.1 Wissenschaftliche Hintergrundinformationen zum Klimawandel . . .	3
2.1.1 Kurzer Überblick über die Klimageschichte der Erde	3
2.1.2 Der natürliche Treibhauseffekt	7
2.1.3 Anthropogene Einflüsse auf das globale Klima	9
2.1.4 Auswirkungen des Klimawandels auf Österreich	14
2.2 Reaktionen auf den Klimawandel	18
3 Fachliche und didaktische Aspekte	29
3.1 Klimawandel im Lehrplan der Sekundarstufe II	29
3.1.1 Einbettung in den aktuellen Lehrplan	29
3.1.2 Das Thema Klimawandel in ausgewählten Schulbüchern . .	30
3.2 Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE)	32
3.2.1 Dimensionen und Kompetenzen	32
3.2.2 Umsetzung an österreichischen Schulen	37
4 Klimawandel in fünf Stunden	41
4.1 Didaktische Analyse	42
4.2 Erste Einheit: Klimageschichte (Erde, Venus, Mars)	45
4.2.1 Planung der Einheit	45
4.2.2 Durchführung der Einheit	46
4.3 Zweite Einheit: Der Treibhauseffekt und der anthropogene Einfluss	48
4.3.1 Planung der Einheit	48
4.3.2 Durchführung der Einheit	50
4.4 Dritte Einheit: Auswirkungen des Klimawandels	51
4.4.1 Planung der Einheit	51
4.4.2 Durchführung der Einheit	53
4.5 Vierte Einheit: Maßnahmen gegen den Klimawandel	55
4.5.1 Planung der Einheit	55

4.5.2	Durchführung der Einheit	56
4.6	Fünfte Einheit: Fake-News Check	58
4.6.1	Planung der Einheit	58
4.6.2	Durchführung der Einheit	59
5	Forschungsdesign	61
5.1	Problemstellung und Forschungsfragen	61
5.2	Methoden: Elemente aus Design-Based Research und Aktionsfor- schung	62
5.3	Informationen zur Schule und Klasse	64
5.4	Datenerhebung	65
6	Ergebnisse und Auswertung	67
6.1	Reflexionen der fünf gehaltenen Einheiten	67
6.1.1	Reflexion der ersten Einheit	67
6.1.2	Reflexion der zweiten Einheit	68
6.1.3	Reflexion der dritten Einheit	69
6.1.4	Reflexion der vierten Einheit	69
6.1.5	Reflexion der fünften Einheit	70
6.2	Evaluation durch ein Gruppeninterview	70
6.2.1	Erste Einheit	70
6.2.2	Zweite Einheit	71
6.2.3	Dritte Einheit	72
6.2.4	Vierte Einheit	73
6.2.5	Fünfte Einheit	74
6.3	Evaluation durch Online-Fragebogen	75
6.3.1	Word Cloud	75
6.3.2	Auswertung des Quiz	76
6.3.3	Persönliche Fragen	79
7	Conclusio	83
7.1	Bestehende Lernendenvorstellungen	83
7.2	Umgestaltung des Unterrichtskonzepts	88
7.2.1	Erste Einheit	89
7.2.2	Zweite Einheit	92
7.2.3	Dritte Einheit	99
7.2.4	Vierte Einheit	102
7.2.5	Fünfte Einheit	104
7.2.6	Alternative Ideen zur Unterrichtsgestaltung einzelner Einheiten	105
7.3	Fazit und Versuch von Antworten auf die Forschungsfragen	109
	Literaturverzeichnis	113

Appendix	129
A: Zusammenfassung	130
B: Abstract (English)	132
C: Unterlagen erste Einheit	134
C1: PowerPoint-Folien	134
C2: Planeten-Texte	135
C3: Planeten-Kärtchen	142
D: Unterlagen zweite Einheit	146
D1: PowerPoint-Folien	146
D2: “1, 2, oder 3”-Folien	147
D3: Arbeitsblatt	148
E: Unterlagen dritte Einheit	149
E1: PowerPoint-Folien	149
E2: Arbeitsblätter	150
F: Unterlagen vierte Einheit	155
F1: PowerPoint-Folien	155
F2: Wortlisten	156
F3: profil-Artikel	157
G: Unterlagen fünfte Einheit	165
G1: PowerPoint-Folien	165
G2: Test	166
H: Transkript Interview	169
I: Testantworten	183
I1: Wissenstest	183
I2: Schülerinnen und Schüler-Feedback am Schluss der Einheiten .	192
I3: Offene Fragen nach persönlicher Meinung	195
J: Überarbeitetes Unterrichtsmaterial	197
J1: Überarbeitete Planeten-Texte	197
J2: Überarbeitetes Arbeitsblatt Treibhauseffekt	200
J3: Lückentext Treibhauseffekt	201
J4: Arbeitsblatt Moleküle und Licht	202
J5: Arbeitsblatt Treibhauseffekt und Ozonloch	203
K: Didaktische Analyse	204
L: Alternative thematische Blöcke	205

Abbildungsverzeichnis

2.1	Einteilung der Erdgeschichte inklusive Zeitskala der Evolution	4
2.2	Grafische Darstellung des globalen Temperaturverlaufs der letzten 500 Millionen Jahre	6
2.3	Schematische Darstellung der atmosphärischen Fenster der Erde . . .	7
2.4	Schematische Darstellung des globalen Strahlungshaushalts der Erde	8
2.5	Grafische Darstellung der Jahresmittelwerte der Lufttemperatur für Österreich von 1961-2018	14
2.6	Grafische Darstellung der Jahresmittelwerte der Lufttemperatur für Österreich (Tiefland) von 1768 bis 2019	15
2.7	Grafische Gegenüberstellung der Jahresniederschlagsmengen zu den durchschnittlichen Lufttemperaturen der Jahre 1981 bis 2018	16
2.8	Vergleich der Ausdehnung der Pasterze aus dem Jahr 1863 mit aktuellen Aufnahmen aus den Jahren 2003, 2006 und 2009	16
2.9	Ausgewählte Wetterereignisse aus dem Jahr 2018	17
2.10	CO ₂ -Konzentration auf dem Mauna Loa auf Hawaii von 1957 bis 2019 (Keeling-Kurve)	19
2.11	Verlauf der österreichischen Treibhausgasemissionen von 1990-2017 und Zielpfad	22
2.12	Auswirkungen des Klimawandels in Europa	25
2.13	Greta Thunberg beim Demonstrieren vor dem schwedischen Reichstag	26
3.1	Dimensionen des Konzepts BNE	34
4.1	Handlungskompetenzen des <i>Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe</i>	43
4.2	Umfrage des “The Australia Institute” über die Einschätzung der Bevölkerung, wie real ihrer Meinung nach der Klimawandel wirklich ist (Zeitraum 2012-2019)	44
4.3	Word Cloud zum Thema Klimawandel	47
4.4	Versuch zum Abschmelzen der Polkappen und dem resultierenden Anstieg des Meeresspiegels	54
4.5	Zusammenfassung der Schülerinnen und Schüler-Antworten bzgl. der Auswirkungen des Klimawandels auf die Arktis und Antarktis	57

4.6	Ergebnisse des CO ₂ -Rechners in den drei Kategorien Wohnen, Konsum und Mobilität der Schülerinnen und Schüler und der Autorin	57
5.1	Schematische Darstellung des Physiksaals der Schule	64
6.1	Word Cloud zum Thema Klimawandel (zweite Befragung)	76
6.2	Auszug aus dem schriftlichen Feedback der Schülerinnen und Schüler am Ende der fünf Unterrichtseinheiten	80
6.3	Boxplots der Antworten auf die persönlichen Fragen 1 - 4 (zweite Befragung)	81
7.1	Zusammenfassung der Denkfiguren zu den Lernendenvorstellungen “Erwärmung durch das Ozonloch” und “Erwärmung durch den Treibhauseffekt”	84
7.2	Absorptionsspektrum ausgewählter Treibhausgase und der gesamten Atmosphäre	87
7.3	Liste der häufigsten Klimaskeptikermymen, zusammengestellt von <i>Skeptical Science</i>	108
L.1	Schematische Darstellung des Projekt <i>Desertec</i>	206
L.2	Globale CO ₂ -Emission der letzten 120 Jahre	210

Ich habe mich bemüht, sämtliche InhaberInnen der Bildrechte ausfindig zu machen und diese ordnungsgemäß in den Bildunterschriften anzuführen. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

Tabellenverzeichnis

4.1	Stundenplanung der ersten Einheit	45
4.2	Stundenplanung der zweiten Einheit	48
4.3	Stundenplanung der dritten Einheit	51
4.4	Stundenplanung der vierten Einheit	55
4.5	Stundenplanung der fünften Einheit	58
6.1	Fragen und mögliche Antwortmöglichkeiten beim Test	76
6.2	Durchschnittliche Punktezahl der einzelnen Testfragen.	78
7.1	Überarbeitete Stundenplanung der ersten Einheit	89
7.2	Überarbeitete Stundenplanung der zweiten Einheit	92
7.3	Überarbeitete Stundenplanung der dritten Einheit	99
7.4	Gegenüberstellung von Wetter und Klima.	101
7.5	Überarbeitete Stundenplanung der vierten Einheit	102
7.6	Überarbeitete Stundenplanung der fünften Einheit	104
L.1	Unterrichtsmaterial zum Thema E-Mobilität	208

Motivation

“ *I have learned you are never too small to make a difference. [...] If a few children can get headlines all over the world just by not going to school, then imagine what we could all do together if we really wanted to.*

— **Greta Thunberg**

(schwedische Klimaschutzaktivistin, Dezember 2018)

Spätestens seit der durch Greta Thunberg initiierten Schulstreiks ist das Thema Klimawandel in aller Munde. Keine (Tages-)Zeitung, die nicht mindestens einen Bericht in diesem Zusammenhang in ihrer täglichen Ausgabe bringt, keine politische Diskussion, die daran vorbeiführt, kein CEO einer großen Firma, der/die nicht die Nachhaltigkeit seines/ihrer Unternehmens beschwört. Doch gerade weil dieses Thema im Moment so viele Menschen beschäftigt, muss auch darauf geachtet werden, dass fundiertes Wissen und Fakten in diesem Zusammenhang vermittelt werden. John Cook von der George Mason University in Virginia (USA) und Kollegen zeigten, wie wichtig es ist, Missinformation aus den Medien durch aufklärenden Unterricht entgegenzuwirken [Cook et al., 2017]. Ansonsten könnten diese eine gut funktionierende Demokratie untergraben, indem der Rückhalt aus der Bevölkerung für die Umsetzung von Klimamaßnahmen fehlt. Hier muss ganz klar das Schulsystem auf den Plan gerufen werden. Ganz besonders eignet sich hierbei das Konzept der Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE), auf das in Abschnitt 3.2 näher eingegangen werden soll. Es ist die Aufgabe u.A. der Schule die Schülerinnen und Schüler zu mündigen und kritischen jungen Erwachsenen zu erziehen. Das Thema Klimawandel eignet sich dabei besonders gut um das Fakten-basierte kritische Denken zu fördern.

Während die Thematik “Klimawandel” schon früher den Einzug in Fächer wie Biologie und Geographie gefunden hat, beginnt es nun auch immer mehr eine Rolle im österreichischen Physik-Unterricht zu spielen. In Italien geht man indessen schon einen Schritt weiter und führt ab Schuljahr 2020/21 das Schulfach “Klimawandel und nachhaltige Entwicklung” (ca. 1 Stunde pro Woche) ein [Pongratz, 2019]. Aufgrund der verzögerten Aufnahme in den österreichischen Physik-Lehrplan gibt es

momentan erst wenige ausgearbeitete Lernumgebungen zu diesem Thema (alternative Herangehensweisen sind etwa auf den Seiten von *Umwelt im Unterricht*¹ oder *Bildung2030*² zu finden). Mit der hier vorliegenden Diplomarbeit wurde der Versuch unternommen solch eine in sich geschlossene Lernumgebung zu gestalten. Eine große Anzahl an Unterlagen ist im Internet zu finden und mittlerweile haben auch die Schulbuchautoren nachgezogen und das Thema in ihre Bücher aufgenommen (zumindest die in den im Abschnitt 3.1.2 vorgestellten Büchern). Das hier präsentierte Unterrichtskonzept wurde basierend auf diesen Informationsquellen, aber auch auf eigenen Ideen, zusammengestellt. Als Beispiel für eine eigene Idee möchte ich hier jene Sequenz in der ersten Unterrichtseinheit nennen, wo die Schülerinnen und Schüler die Klimata der Planeten Venus, Erde und Mars vergleichen sollten. Da ich mich im Zuge meines Astronomiestudiums viel mit vergleichender Planetologie beschäftigt habe und ich weiß, dass Astronomie immer gut bei Schülerinnen und Schülern ankommt, lag für mich dieser – für andere vielleicht exotisch erscheinender – Einstieg quasi auf der Hand.

Das fünf Unterrichtseinheiten umfassende Konzept wurde im Zuge des Fachbezogenen Praktikums (FAP) im Unterrichtsfach Physik im Sommersemester 2019 in einer siebten Klasse eines Wiener Realgymnasiums erarbeitet und unterrichtet. Die gehaltenen Stunden werden in der hier vorliegenden Arbeit reflektiert und anhand ausgewählter Elemente des *Design Based Research* und der *Aktionsforschung* analysiert. Am Ende werden noch Verbesserungsvorschläge für die zukünftige Umsetzung des Konzepts vorgestellt. Zusätzlich soll das zweite und dritte Kapitel dieser Arbeit einen auf wissenschaftlichen Arbeiten beruhenden Überblick über die Klimageschichte der Erde, über die Entwicklung der Klimawissenschaft, den gesellschaftspolitischen Wandel in seiner Wahrnehmung und über den Einzug des Klimawandels in den Physik-Lehrplan der österreichischen Schulen geben. Diese doch recht umfangreiche Einleitung kann als Nachschlagewerk für LehrerInnen dienen, die mit ihren Schülerinnen und Schülern bei der Besprechung dieses Themas etwas mehr in die Tiefe gehen wollen.

Ziel dieser Arbeit ist auf der einen Seite die Schaffung eines schulkonformen kurzen Nachschlagewerks zum Thema Klimawandel (Kapitel 2), die Vorstellung eines in sich geschlossenen Unterrichtskonzepts unter Einbindung neuer Medien zu diesem Thema für die siebte Klasse und die Analyse, Reflexion und Verbesserung dieses Konzepts im Sinne des *Design Based Research* und der *Aktionsforschung*.

¹<https://www.umwelt-im-unterricht.de/>, letzter Zugriff: 15.02.2020

²<https://bildung2030.at/>, letzter Zugriff: 11.05.2020

Dimensionen des Klimawandels

„ Wir sind die Generation, die schon genug weiß,
um handeln zu müssen.

— Helga-Kromp-Kolb und Herbert
Formayer

(österreichische Klimaforscher, 2005 - in
“Schwarzbuch Klimawandel. Wie viel Zeit bleibt
uns noch?”[Kromp-Kolb und Formayer, 2005])

2.1 Wissenschaftliche Hintergrundinformationen zum Klimawandel

2.1.1 Kurzer Überblick über die Klimageschichte der Erde

Das Klima der Erde war seit Anbeginn im Wandel. Die teilweise drastischen Klimaänderungen in der Erdgeschichte markieren auch immer den Übergang von einem Erdzeitalter zum nächsten. Bei der sogenannten geologischen Zeitskala wird die Erdgeschichte zunächst grob in vier Perioden (Äonen) unterteilt: Hadaikum, Archaikum, Proterozoikum und Phanerozoikum (siehe Abb. 2.1).

Als die Erde vor etwa 4.53 Milliarden Jahren entstand [Maruyama und Ebisuzaki, 2017], war sie eine heiße Gluthölle. Dementsprechend ist der Name des ersten Erdzeitalters (Hadaikum) nicht von ungefähr eine Ableitung des Wortes *Hades*, dem griechischen Gott der Unterwelt. Es beschreibt jenen Zeitraum von der Entstehung der Erde über die Entstehung des Mondes, des (mittlerweile umstrittenen) Großen Bombardements (Late Heavy Bombardement), hin zum Ende des Abkühlungsprozesses der jungen Erde. Informationen über dieses Äon können Wissenschaftler noch heute aus sogenannten Zirkonen sammeln, die uns einen Blick bis zu 4.4 Milliarden Jahre in die Vergangenheit ermöglichen [Wilde et al., 2001, Valley et al., 2014]. Zirkone sind ein Mineral (Zirkonium-Silikat), das gegenüber geologischen Einflüssen wie Verwitterung extrem resistent ist und so über einige Milliarden Jahre die Informationen zu den Bedingungen bei seiner Entstehung speichern kann. Die erste

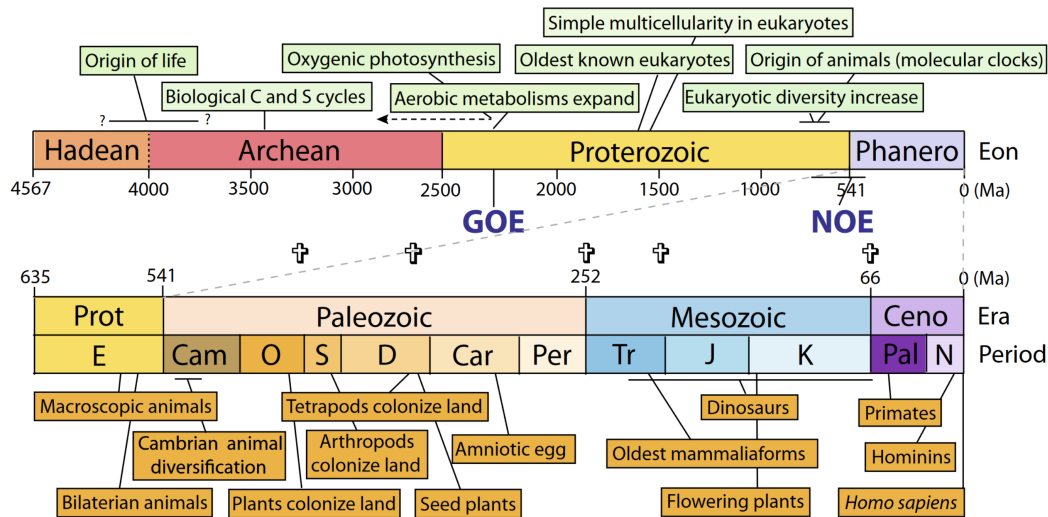


Abb. 2.1. Einteilung der Erdgeschichte inklusive Zeitskala der Evolution (aus Knoll und Nowak [2017], S.2). Die Kreuze markieren die fünf großen Massenaussterben des Phanerozoikums. Phanero=Phanerozoic (Phanerozoikum); Prot=Proterozoic (Proterozoikum); Ceno=Cenozoic (Känozoikum); E=Ediacaran (Ediacarium); Cam=Cambrian (Kambrium); O=Ordovician (Ordovizium); S=Silurian (Silur); D=Devonian (Devon); Car=Carboniferous (Karbon); Per=Permian (Perm); Tr=Triassic (Trias); J=Jurassic (Jura); K=Cretaceous (Kreide); Pal=Paleogene (Paläogen); Neo=Neogen (Neogen); GOE=Great Oxygenation Event (Große Sauerstoffkatastrophe); NOE=Neoproterozoic Oxygenation Event (Neoproterozoisches Sauerstoffereignis)

Atmosphäre, auch Uratmosphäre oder Primordialatmosphäre genannt, bildete sich vermutlich bereits in den ersten Millionen Jahren aus und bestand vorwiegend aus Wasserstoff (H_2) und Helium (He) sowie in geringerem Maße aus Methan (CH_4), Ammoniak (NH_3) und einigen Edelgasen [Zahnle et al., 2010]. Durch die hohe Temperatur konnte sich diese Atmosphäre allerdings nicht lange halten. Die Entstehung und Existenz solch einer Primordialatmosphäre, die durch Einfangen der oben genannten Gase aus dem Sonnennebel entstanden sein könnte, ist immer noch hypothetischer Natur und konnte bisher noch nicht mit Sicherheit bewiesen bzw. nachgewiesen werden [Zahnle et al., 2010].

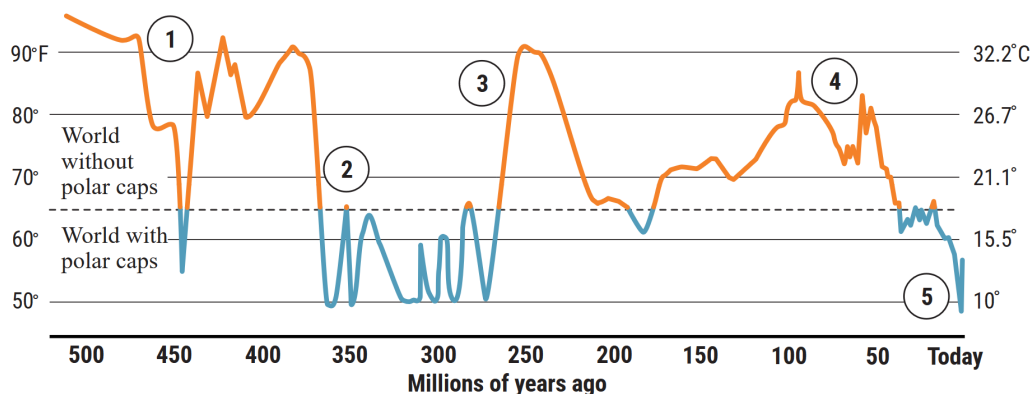
Das zweite Äon, das Archaikum, begann vor etwa vier und endete vor etwa 2.5 Milliarden Jahren. Als unser Heimatplanet langsam begann sich abzukühlen, bildete sich eine erste stabilere Atmosphäre aus. Diese wurde vorwiegend durch die Ausgasungen der unzähligen Vulkane gebildet und bestand daher vor allem aus Wasserdampf (H_2O), sowie Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Stickstoff (N_2) und Spuren von H_2 und Kohlenstoffmonoxid (CO) [Zahnle et al., 2010]. Im Laufe der Zeit verflüchtigten sich die leichten Gase wie H_2 und He , wohingegen sich CO_2 und N_2 durch die durch UV-Strahlung bedingte photochemische Zerlegung von H_2O , CH_4 und NH_3 weiter anreicherten [Rapf und Vaida, 2016]. Nachdem die Erde weiter abkühlte, verflüssigte sich der Wasserdampf in der Atmosphäre und es kam zu einem Jahrtausende

wenn nicht Jahrmillionen anhaltenden Dauerregen, aus dem schließlich die ersten Weltmeere hervorgingen [Paetsch und Harf, 2018]. Beinahe der gesamte Planet war von einem durchschnittlich 4000 m tiefen Ozean bedeckt [Harf, 2018]. Der Name Archaikum kommt von dem altgriechischen Wort für *Beginn* bzw. *Ursprung* und markiert jene Periode, in die die Entstehung des Lebens auf der Erde fällt, wobei der genaue Zeitpunkt mangels (biologischer) Überreste aus dieser Zeit wohl für immer ungewiss bleiben wird. Die ältesten bekannten Fossilien urzeitlichen Lebens sind Stromatolithen, biogene Sedimentgesteine, die mit einem Alter von etwa 3.5 Milliarden Jahre datiert wurden [Westall et al., 2006, Walter et al., 1980]. Das erste Leben entstand vermutlich in der Nähe von hydrothermalen Quellen (rauchende Schlote oder *Black Smokers* genannt) am Meeresboden [Paetsch und Harf, 2018]. Wie das Leben jedoch genau entstanden ist, wird wohl noch lange eine ungelöste Frage der Wissenschaft bleiben.

Vor etwa 2.45 Milliarden Jahren kam es dann zur sogenannten Sauerstoff-Katastrophe (Great Oxygenation Event, GOE) [Sleep, 2010, Kump et al., 2013]. Sie markiert den Beginn des nächsten Äon, dem Proterozoikum. Der Name Proterozoikum stammt von den zusammengesetzten altgriechischen Worten für *früh* und *Lebewesen*. Mikroorganismen wie (Vorfahren von) Algen und Cyanobakterien produzierten zwar schon seit vielen Millionen Jahren Sauerstoff [Schirrmeister et al., 2015], doch erst jetzt wurde er in großen Mengen in den Ozeanen angereichert und daraufhin auch in die Atmosphäre freigesetzt. Der Grund dafür liegt vermutlich darin, dass bis zu diesem Zeitpunkt der durch die Mikroorganismen gebildete Sauerstoff für die Oxidation von zweiwertigem Eisen (bei Vulkanismus unter der Meeresoberfläche entstanden) zu dreiwertigem Eisen vollkommen aufgebraucht wurde. Diesen Vorgang kann man heute an breiten Bändererzablagerungen in Gesteinsproben aus dieser Zeit erkennen. Erst als diese Sauerstoffsänke gesättigt war, begann sich der Sauerstoff auch in den Meeren und in der Atmosphäre prozentuell bemerkbar zu machen. Etwa vor 1.5 Milliarden Jahren traten dann die ersten aeroben Lebensformen auf [Markl, 2015], die diesen Sauerstoff aktiv in ihrem oxidativen Energiestoffwechsel verbrauchten, was ihnen eine größere Energiegewinnung möglich machte. Durch die zunehmende Konzentration von Sauerstoff in der Atmosphäre bildete sich schließlich die Ozonschicht (Ozon, O₃) aus [Markl, 2015]. Diese stellte fortan eine Barriere für die von der Sonne kommende UV-Strahlung dar. Das wiederum ebnete den Weg für das Leben die Landmassen zu erobern.

Am Ende des Proterozoikums bzw. am Anfang des Phanerozoikums entwickelten sich langsam die ersten Eukaryoten [Knoll und Nowak, 2017], d.h. Lebewesen aus der dritten Domäne des Lebens neben Archaeen und Bakterien [Woese et al., 1990]. Das Wort Phanerozoikum kann in etwa mit *Zeitalter des sichtbaren Lebens* übersetzt werden. Die Sauerstoffkonzentration in der Erdatmosphäre ist in diesem, noch bis heute andauernden Äon, recht großen Schwankungen ausgesetzt, mit bis zu 35 %

vor etwa 300 Millionen Jahren, nur 15 % vor etwa 250 Millionen Jahren und 21 % in den letzten paar Millionen Jahren. Die Bedeutung des hohen Sauerstoffgehalts vor etwa 800-550 Millionen Jahren (Neoproterozoic Oxygenation Event, NOE, Och und Shields-Zhou [2012]) für das als kambrische Explosion bekannte plötzliche Auftreten einer großen Vielzahl von Tieren, ist bis heute umstritten [Zhuravlev und Wood, 2018]. Neben der O₂- und CO₂-Konzentration war auch die mittlere Oberflächentemperatur in den letzten 500 Millionen Jahren großen Schwankungen ausgesetzt (siehe Abb. 2.2). So gab es nach einer aktuellen Studie vor etwa 90 Millionen Jahren einen Regenwald in der Nähe der Westantarktis [Klages et al., 2020], jedoch auch allein in diesem Äon drei Eiszeitalter (Ordovizisches, Permokarbones und Känozoisches), wobei das letzte (Känozoisches) bis heute andauert und vor etwa 2 Millionen Jahren begann [ESA, 2020]. Die Erde befindet sich dann in einem Eiszeitalter, wenn mindestens eine Polregion vergletschert bzw. mit einer Eiskappe bedeckt ist. Innerhalb des gegenwärtig herrschenden Eiszeitalters befinden wir uns seit etwa 11 000 Jahren in einer Warmzeit [ESA, 2020], dem Holozän (abgeleitet von dem griechischen Wort für ganz *neu*). Der serbische Mathematiker Milutin Milanković versuchte in seinen Arbeiten die regelmäßigen Wechsel zwischen Kalt- und Warmzeiten zu erklären [Milanković, 1941]. Dabei beruht die Theorie von Milanković vorwiegend auf der Variation in der Sonneneinstrahlung durch die Präzession und Neigung der Erdachse sowie der Exzentrizität bzw. Periheldrehung der Erdbahn, wobei diese Theorie bis heute umstritten ist und vermutlich weitere, von Milanković nicht miteinbezogene Faktoren eine Rolle spielen [Fowler et al., 2013].



SMITHSONIAN INSTITUTION NATIONAL MUSEUM OF NATURAL HISTORY, ADAPTED BY N. DESAI/SCIENCE

Abb. 2.2. Grafische Darstellung des globalen Temperaturverlaufs der letzten 500 Millionen Jahre (aus Voosen [2019], S. 1). (1) Zeigt die hohen Temperaturen, in denen marines Leben sich entwickelte. (2) Markiert jene Periode, in der Pflanzen an Land begannen CO₂ aufzunehmen und die Polareiskappen entstanden. (3) Hier ist der Einfluss einer verstärkten vulkanischen Aktivität inklusive Anstieg der CO₂-Konzentration zu erkennen. (4) In dieser Periode begannen die Säugetiere langsam die Erde zu dominieren. (5) Zeigt schließlich den rasanten Temperaturanstieg in den letzten 150 Jahren, der vorwiegend auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen ist.

2.1.2 Der natürliche Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt wurde, wie später in Kapitel 2.2 genauer erwähnt, erstmals von Svante Arrhenius detaillierter beschrieben [Corfee-Morlot et al., 2007]. Der Ausgangspunkt liegt in der von der Sonne kommenden elektromagnetische Strahlung. Diese wird teilweise an der Stratosphäre reflektiert und teilweise passiert sie die Atmosphäre ohne wesentliche Abschwächung. Jene Wellenlängenbereiche, wo beinahe keine Abschwächung vorkommt, nennt man *atmosphärische Fenster* (siehe Abb. 2.3). Hierzu zählt das *optische Fenster* (300-700 nm), das *Infrarotfenster*, das aus mehreren schmalen Infrarot(IR)-Bändern (z.B. 1.0-2.5 μm) besteht, und das *Radiofenster* mit einer Wellenlänge zwischen 1 mm und 20 m [F. A. Brockhaus, 2006a]. Der Grund für diese ungleichmäßige Durchlässigkeit der Atmosphäre für elektromagnetische Strahlung liegt in der atmosphärischen Zusammensetzung. Wie in Abb. 2.3 angedeutet, sind vor allem Moleküle wie H_2O , O_3 , O_2 oder CO_2 für diese Undurchlässigkeit verantwortlich. An diesen Molekülen wird z.B. die Gamma- oder die Röntgenstrahlung, aber auch Teile der UV-Strahlung (siehe Erläuterung zur Ozonschicht, S. 10), absorbiert bzw. wieder zurück in den Weltraum reflektiert. Für das Leben auf der Erde ist die Atmosphäre somit eine extrem wichtige Schutzbarriere gegen diese hochenergetische Strahlung.

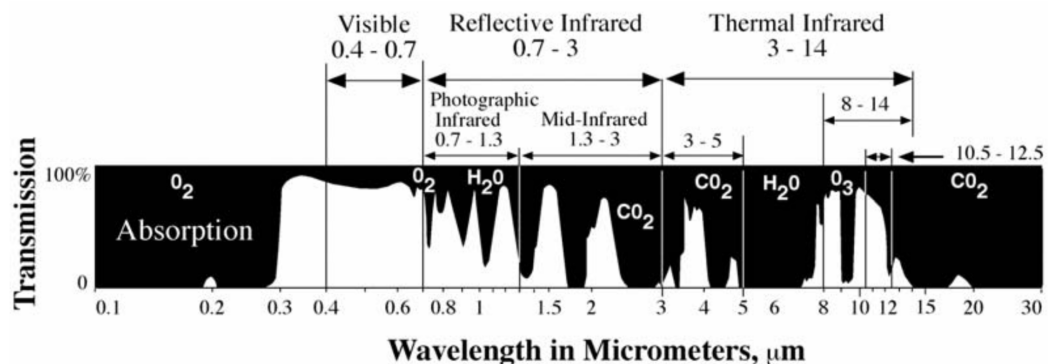


Abb. 2.3. Schematische Darstellung der atmosphärischen Fenster der Erde (aus Alavipanah et al. [2010], S. 86)

In Abb. 2.4 ist die (auf den ersten Blick) ausgeglichene Energiebilanz (Strahlungsbilanz) der Erde zu sehen, in der die Größenordnungen des Strahlungshaushalts der Erde abzulesen sind. Der mittlere von der Sonne ausgehende Strahlungsstrom, auch *Solarkonstante* genannt, beträgt $1\,368\text{ W m}^{-2}$ für die Erde [F. A. Brockhaus, 2006b]. Aufgrund der Kugelgestalt der Erde erreicht dabei jedoch nur knapp ein Viertel (341 W m^{-2}) die Erdatmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt. Von diesem Viertel werden etwa 23 % an der Atmosphäre (z.B. an Wolken) wieder zurück ins All gestreut und ebenso etwa 23 % direkt von der Atmosphäre absorbiert. Der Rest, also etwa die Hälfte von dem einfallenden Strahlungsstrom (184 W m^{-2} , vorwiegend kurzwellige Strahlung), gelangt durch die oben beschriebenen atmosphärischen

Fenster bis zur Erdoberfläche (*hohe Transparenz*). Knapp 88 % des einfallenden Strahlungsstroms werden dabei von der Oberfläche absorbiert, der Rest wird wieder ins Weltall zurück reflektiert. Die Absorption bewirkt, dass sich die Erdoberfläche erwärmt und infolgedessen langwellige Strahlung (IR-Strahlung) emittiert (gemäß dem *wienschen Verschiebungsgesetzes*). Auf der rechten Seite von Abb. 2.4 wird schematisch dargestellt, dass der Großteil dieser Wärmestrahlung, die von der Erdoberfläche ausgeht, in der Atmosphäre von sogenannten Treibhausgasen (*greenhouse gases*) zunächst absorbiert (nur 40 von 396 W m^{-2} verlassen direkt das System) und dann wieder emittiert wird. Die für den natürlichen Treibhauseffekt hauptverantwortlichen Treibhausgase sind dabei Wasserdampf und CO_2 . Ein kleiner Teil der in alle Richtungen emittierten Strahlung (und zusätzlich Teile jener Strahlung, die beim Einfall der Sonnenstrahlung direkt absorbiert wurde – 78 W m^{-2} –, noch bevor sie auf die Erdoberfläche treffen konnte) gelangt so dann zwar wieder ins Weltall, es werden aber 333 W m^{-2} wieder auf die Erdoberfläche zurückgeworfen (*downwelling radiation*). Mit der Entstehung der Erdatmosphäre gab es von Anbeginn einen natürlichen Treibhauseffekt auf der Erde, dessen Stärke von der Zusammensetzung der momentanen Erdatmosphäre abhängt. Ohne den natürlichen Treibhauseffekt würde die mittlere Oberflächentemperatur der Erde nicht bei 15°C sondern bei nur -18°C liegen [Ma, 1998].

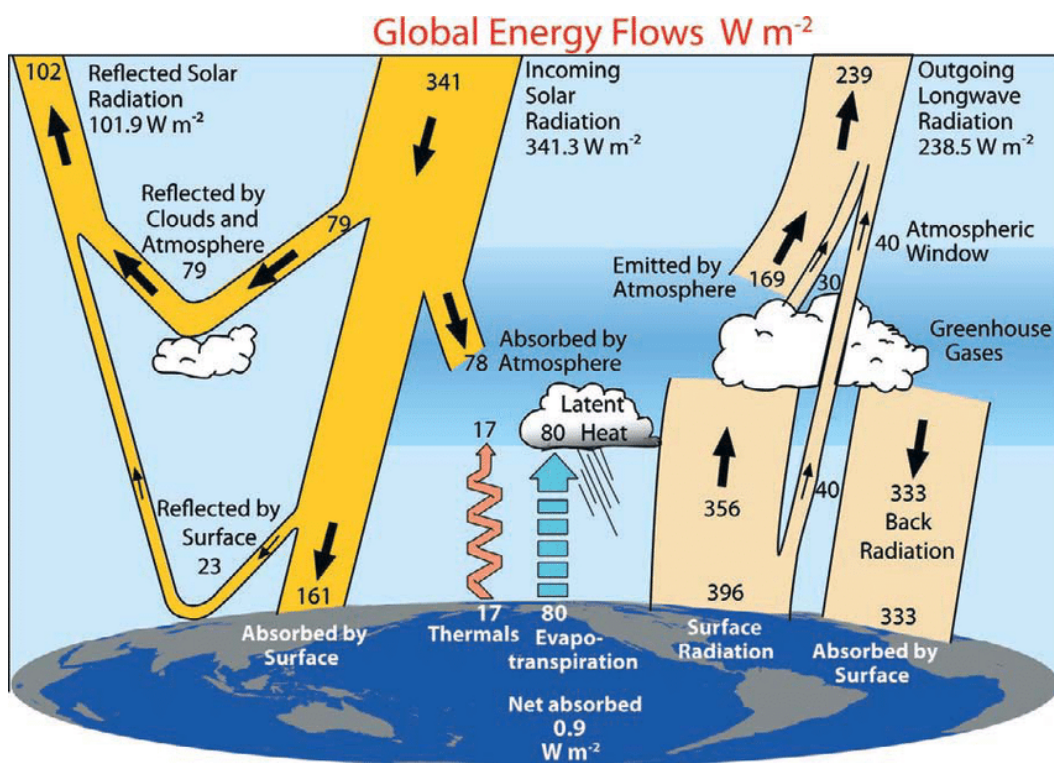


Abb. 2.4. Schematische Darstellung des globalen Strahlungshaushalts der Erde für die Jahre 2000-2005 in W m^{-2} (aus Trenberth und Fasullo [2012], S. 415)

2.1.3 Anthropogene Einflüsse auf das globale Klima

Der Klimawandel in den letzten 200 Jahren

Als die drei markantesten Auswirkungen des menschlichen Handels auf das *Klimasystem Erde* soll im Folgenden kurz auf den anthropogenen Treibhauseffekt, den Sulfataerosoleffekt und die Bildung des Ozonlochs eingegangen werden.

Die industrielle Revolution, die in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts in England begann und dann im Laufe von einem Jahrhundert auf die ganze Welt übergang, besiegelte den Übergang von der Agrar- zur Industriegesellschaft. Im Zuge dieser Epoche wurden die ersten Kraftwerke gebaut, wobei zunächst vorwiegend Dampfmaschinen neben der bereits bekannten Nutzung von Wind und Wasser zur Energiegewinnung (Energieumwandlung) im Einsatz waren. Später kamen dann Kraftwerke hinzu, die zum vermehrten Ausstoß von Treibhausgasen führten. Neben CO_2 zählen auch CH_4 , N_2O , teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW/HFC), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW/PFC), Schwefelhexafluorid (SF_6) und Stickstofftrifluorid (NF_3) zu den vom Menschen (in)direkt produzierten Treibhausgasen. Auch wenn diese Gase in einem viel geringerem relativen Anteil in der Erdatmosphäre vorkommen als CO_2 , so ist doch ihr Treibhauspotential um ein Vielfaches höher. Durch den globalen Temperaturanstieg verdunstet zusätzlich auch noch mehr Wasser, was zu einem Anstieg der Wasserdampfkonzentration führt, der ebenfalls ein hoch potentes Treibhausgas darstellt.

Speziell die Nutzung von fossilen Brennstoffen hat den Anteil an Treibhausgasen wie CO_2 , CH_4 und N_2S in der Erdatmosphäre in den letzten 200 Jahren signifikant ansteigen lassen. Zu den fossilen Brennstoffen gehören Braunkohle, Steinkohle, Torf, Erdgas und Erdöl, also Abbauprodukte von toten Pflanzen und Tieren aus der geologischen Vorzeit. Diese fossilen Brennstoffe können als Kohlenstoffreservoirs angesehen werden, wobei bei Verbrennung dieser Stoffe der darin seit Jahrtausenden bis Jahrmillionen gebundene Kohlenstoff in Form von CO_2 wieder in die Atmosphäre freigesetzt wird. Auch die sukzessive Veränderung der Erdoberfläche durch den Menschen spielt eine gewisse Rolle beim Klimawandel. Die großflächigen Rodungen von (Ur-)Wäldern und die Versiegelung von Flächen sind dabei besonders hervorzuheben.

Die Vermehrung von Treibhausgasen in der Atmosphäre bewirkte, mit einer gewissen Verspätung, ein Ungleichgewicht in der Energiebilanz der Erde. Damit die Energiebilanz ausgeglichen sein kann, muss jene Strahlungsenergie, die in der Atmosphäre bzw. an der Oberfläche absorbiert wurde, auch wieder ins Weltall abgegeben werden. Wird weniger abgegeben, kommt es zu einer Erwärmung der Erde (positive Energie-

bilanz, "Strahlungsantrieb"). Wenn man sich die exakten Werte in Abb. 2.4 ansieht, kann man erkennen, dass in den Jahren 2000-2005 insgesamt um 0.9 W m^{-2} zu wenig abgegeben wurde. Dieser Betrag verbleibt also in der Atmosphäre und bewirkt die viel diskutierte Erderwärmung, die vermutlich bereits vor mindestens 180 Jahren, also in den 1830ern, begann [Abram et al., 2016]. Dabei ist zu erwähnen, dass der Beginn der Erwärmung im Mittel um etwa 50 Jahre später in der südlichen Hemisphäre als in der nördlichen eintrat [Abram et al., 2016].

Der Temperaturhaushalt der Erde ist von positiven und negativen Rückkopplungsprozessen mit den Treibhausgasen (vor allem CO_2) bestimmt. Sollten eines Tages die positiven Rückkopplungsprozesse überwiegen, kann es auch zu einem galoppierenden Treibhauseffekt (*runaway greenhouse effect*) kommen, den auch unser Nachbarplanet Venus einst ereilt hat. Der galoppierenden Treibhauseffekt ist ein nicht aufzuhaltender und sich selbst verstärkender Treibhauseffekt. Ob uns so eine, für das Leben auf der Erde katastrophale Zukunft bevorsteht, ist in der wissenschaftlichen Gemeinschaft umstritten [Hansen et al., 2013, Steffen et al., 2018].

Neben den eben genannten Treibhausgasen spielen auch Aerosole, also kleine Schwebeteilchen, in der Atmosphäre eine entscheidende Rolle im Klimasystem der Erde. Vom Menschen erzeugte Aerosole werden vorwiegend durch die Industrie, den Verkehr und die Landwirtschaft emittiert. Aber auch Waldbrände und Vulkanausbrüche tragen einen Teil zu den globalen Aerosolemissionen bei. Der Großteil der Schwefelgase (Schwefeldioxid, SO_2) und der daraus entstehenden Sulfataerosole entsteht auf der Nordhalbkugel. Die genauen klimarelevanten Prozesse der Aerosolansammlung in der Atmosphäre sind noch immer nicht ganz verstanden. Wo sich aber die Wissenschaft einig ist, ist der Einfluss des Sulfataerosol. Dieses Aerosol weist so gut wie keine Absorption im sichtbaren Lichtbereich auf, ist also vorwiegend für seinen lichtstreuenden Charakter bekannt. Dadurch wird auch ein Anteil des Sonnenlichts direkt zurück ins All reflektiert. Sulfataerosol haben somit einen abkühlenden Effekt auf das Klimasystem der Erde. Eine aktuelle Studie spricht sogar davon, dass die Sulfataerosole im letzten halben Jahrhundert die lokale Erderwärmung in Europa um etwa ein Drittel gedrückt haben könnten [Storelvmo et al., 2016]. Allerdings kann man die Sulfataerosole nicht als Heilsbringer gegen den Klimawandel einsetzen, da sie auch für Phänomene wie sauren Regen oder Atembeschwerden verantwortlich gemacht werden. Aus diesem Grund wurden in den 1980er Maßnahmen gegen die SO_2 -Freisetzung gesetzt, wo etwa Braunkohle-Kraftwerke und ölverbrennende Anlagen fortan spezielle Filter nutzen mussten. Das Problem des sauren Regens bekam man zwar so in den Griff, jedoch verloren wir dadurch einen im Klimasystem kühlenden Faktor.

Ein oft im Zuge der Klimadebatte erwähntes Phänomen, das die Menschheit vor allem in den 1980er und 1990er Jahren beschäftigt hat, ist das Ozonloch. Vor allem in

der unteren Stratosphäre, also in etwa 15-30 km Höhe, kommt es zu einer erhöhten Ansammlung des Spurengases O_3 . Auch wenn diese Region den Namen Ozonschicht trägt, liegt der Anteil an O_3 nur im ppm-Bereich. Diese Menge an O_3 reicht allerdings, um annähernd die gesamte von der Sonne kommende UV-B- und UV-C-Strahlung zu absorbieren. Dabei spaltet kurzwelliges UV-Licht (UV-C) der Sonne O_2 -Moleküle (*Dissoziation* durch *Photolyse*), wobei sich dann die so entstandenen Sauerstoffatome mit anderen O_2 -Molekülen verbinden und O_3 bilden. Dieses O_3 kann dann von dem langwelligem UV-Licht (UV-B) der Sonne wieder aufgespalten werden. Durch diese ständige Ozonbildung und -vernichtung (*Chapman-Zyklus*) wird annähernd die gesamte UV-Strahlung der Sonne absorbiert (UV-A wird nur in geringem Maße absorbiert, ist aber weniger energiereich und somit weniger gefährlich für den Menschen). Durch den Einsatz von Chlorfluorkohlenwasserstoffe (meist als Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) bezeichnet), als z.B. Kältemittel oder Treibgas in Sprühdosen seit den 1930ern, dünnte die Ozonschicht langsam aus. Der Grund dafür liegt darin, dass FCKW Chlorradiakle in der Stratosphäre ausbilden, die wiederum leicht mit O_3 reagieren und dieses zu O_2 abbauen. Diese Ausdünnung ging schließlich so weit, dass seit Anfang der 1980er jährlich über der Antarktis ein "Loch" (Ausdünnung) in der Ozonschicht zu beobachten ist: das viel zitierte Ozonloch. Das bewirkte einen Anstieg der UV-B Strahlung in der südlichen Hemisphäre, was wiederum zu einem Ansteigen der Hautkrebsraten etwa in Australien oder Neuseeland führte, da UV-B (und UV-A) das Erbgut (DNS, oder englisch DNA) des Menschen angreift [McMichael et al., 2003, Martens et al., 1996, Henriksen et al., 1990]. Seit der Entdeckung des Ozonlochs konnte Dank der Maßnahmen, die im Zuge des Montreal-Protokolls (siehe Kapitel 2.2, S. 20) getroffen wurden, die Ausweitung des Ozonlochs gestoppt werden. 2019 verkündete die National Aeronautics and Space Administration (NASA), dass das Ozonloch auf die geringste Ausdehnung seit seiner Entdeckung geschrumpft ist [NASA, 2019]. Jedoch konnte eine weitere Studie zeigen, dass sich die Ozonschicht in der oberen Stratosphäre zwar erholt hat, jedoch sich der Negativtrend hin zu einer Ausdünnung der Ozonschicht in der unteren Stratosphäre weiter fortsetzt [Ball et al., 2018]. Der Grund für dieses Phänomen konnte bisher noch nicht identifiziert werden. Auch über dem Nordpol gibt es ein Ozonloch, nur ist dieses um vieles kleiner als sein Pendant auf der Südhalbkugel [ESA, 2020].

Entgegen den oft herrschenden Lernendenvorstellungen, dass der Klimawandel direkt auf das Ozonloch zurückzuführen ist (siehe dazu Abschnitt 7.1, S. 83), hat das Ozonloch nur eine marginale Bedeutung für den Klimawandel. Zwar dringt durch das Loch mehr UV-Strahlung in das System Erde, doch die kühlende Wirkung überwiegt: die Sonnenstrahlen können aufgrund des Fehlens des Ozons nicht mehr absorbiert werden, womit die Temperatur vor allem über dem Südpol in der unteren Stratosphäre abnimmt. Das wiederum bewirkte eine Veränderung der Wind- bzw. Wasserströmungen auf der Südhalbkugel, die das Klima der Südhalbkugel beeinflussen [Lee und Feldstein, 2013, Waugh et al., 2013].

An dieser Stelle sollte noch erwähnt werden, dass O_3 in der unteren Stratosphäre zwar als Schutzmechanismus gegen die UV-Strahlung der Sonne wirkt, jedoch das vom Menschen produzierte O_3 in Bodennähe (troposphärisches O_3) aufgrund seiner Absorptionseigenschaft bei etwa $9.6 \mu m$ als Treibhausgas gilt (siehe Abb. 2.3). Zusätzlich kann bodennahes O_3 in hoher Konzentration Atembeschwerden hervorrufen und dem Pflanzenwachstum schaden.

Da ein signifikanter Klimawandel aufgrund der eben beschriebenen Einflüsse des Menschen in der historischen Klimaanalyse zu erkennen ist, wurde angedacht, die letzten Jahrhunderten als eine neue geochronologische Epoche zu deklarieren: das Anthropozän (griechisch von *Mensch* und *neu*) [Lewis und Maslin, 2015].

Momentane globale Zukunftsaussichten

Im fünften *IPCC Assessment Report* (AR5) von 2013/14 wurde anhand von verschiedenen Emissionsszenarien berechnet, dass sich die globale Lufttemperatur um 1.5 bis $4.5 \text{ }^\circ\text{C}$ bis zum Ende des 21. Jahrhunderts erhöhen wird (im Vergleich gegenüber der Periode 1986-2005) [IPCC, 2014]. Um dem *Übereinkommen von Paris* gerecht zu werden (siehe Kapitel 2.2, S.23) muss die globale Temperaturerhöhung auf $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$ begrenzt werden. Dafür ist ein kompletter Stopp der Emission von Treibhausgasen bis 2060 nötig, gefolgt von einer aktiven Entfernung der bereits vorhandenen Treibhausgase aus der Atmosphäre. Im Allgemeinen rechnet man mit einer mittleren Temperaturzunahme von $0.2 \text{ }^\circ\text{C}$ pro Dekade für die nächsten zwei Jahrzehnte.

Ein Indikator für den Anstieg der Oberflächentemperatur ist der steigende Meeresspiegel. In einer Studie wurde gezeigt, dass die Höhe des Meeresspiegels bis vor Ende des 19. Jahrhunderts fast 2000 Jahre annähernd konstant war¹ [Kemp et al., 2011]. Seither stieg der Meeresspiegel um etwa 2.1 mm pro Jahr an, was bei weitem dem stärksten mittleren jährlichen Anstieg in den letzten 2000 Jahren entspricht. In einer anderen Studie präsentieren die Autoren Daten, die zeigen, dass der Anstieg bereits früher begann, wobei für das 19. Jahrhundert eine mittlere Steigung von bereits insgesamt 6 cm angegeben wird [Jevrejeva et al., 2008]. Während die Variation des Meeresspiegels in der vorindustriellen Zeit noch vorwiegend auf natürlichen Schwankungen beruhte (z.B. mit einem nachgewiesenen 60-Jahre-Zyklus [Jevrejeva et al., 2008]), so kann der Anstieg der letzten 200 Jahre eigentlich nur mit dem Einsetzen des anthropogenen Treibhauseffekts erklärt werden.

Prinzipiell kann man zwei Gründe für den Anstieg des Meeresspiegels nennen, die jedoch beide mit der Erderwärmung zusammenhängen. Der eine Grund liegt ganz all-

¹Ausgenommen von einer 400-jährigen Periode nach 950 A.D., wo ein leichter Anstieg von ca. 0.6 mm y^{-1} nachgewiesen wurde [Kemp et al., 2011]. Diese Daten wurden für die Region um North Carolina, USA, erhoben.

gemein in der Erwärmung der Ozeane, da sich Körper ja bekanntlich bei Erwärmung ausdehnen. Der andere Grund für den Meeresspiegelanstieg liegt im Abschmelzen von Landeismassen wie etwa dem Grönland- oder dem Antarktiseis und dem daraus folgenden Volumenzuwachs von flüssigem Wasser in den Meeren. Das Schmelzen von schwimmenden Eismassen wie etwa der Arktis würde sich dabei gemäß dem *Archimedischen Prinzip* nicht bemerkbar machen. Demzufolge verdrängt Wasser in Form von Eis dasselbe Volumen wie später als Flüssigkeit. Jedoch weist das Meerwasser einen höheren Salzgehalt auf und ist somit dichter. Das wiederum bedeutet, dass ein Abschmelzen der schwimmenden Eismassen eine Abnahme der Dichte bewirkt, was sich wiederum in einer Volumenzunahme niederschlägt. Dem entgegen wirkt, dass das Schmelzwasser zu einer Abkühlung der Ozeane führt, was wiederum die Dichte leicht erhöht. Der Rückgang der Eisfläche hat aber noch einen weiteren klimatischen Effekt: da Meerwasser eine weitaus geringere Albedo (Rückstrahlvermögen) hat als Eis, wird so viel mehr Sonnenenergie absorbiert statt reflektiert, was sich wiederum auf die sogenannte *Eisalbedo-Temperatur-Rückkopplung* auswirkt und somit zu einem weiteren Faktor des globalen Temperaturanstiegs führt. Dieser Rückkopplungsprozess ist auch der Grund, weshalb die Temperatur in der arktischen Region global den extremsten Anstieg vorweist (für weitere Informationen zu Rückkopplungsprozessen, siehe Abschnitt 7.2.6, S. 105).

Der Anstieg des Meeresspiegels wird für viele Menschen, die heute in Küstennähe wohnen, existenzielle Folgen haben und viele Menschen zu Klimaflüchtlingen machen (siehe Bericht „Insellösung“ im Appendix E2, S. 153). Eine aktuelle Studie spricht von mehr als 300 Millionen Menschen, die bis 2050 vom Anstieg des Meeresspiegels bedroht sein könnten [Kulp und Strauss, 2019]. Darüber hinaus wird im fünften *IPCC Assessment Report* berichtet, dass die globale jährliche Niederschlagsmenge in Zukunft steigen wird. Dabei wird es vermehrt zu großflächigen Starkniederschlägen kommen, wobei kleinere und mittlere Niederschlagsmengen eher seltener werden. Generell überwiegt die Einschätzung, dass die Anzahl und Ausprägung von Naturkatastrophen und Extremereignissen wie Überschwemmungen, Dürren, Hitzewellen, Hagelereignisse, Waldbrände, etc. in Zukunft signifikant zunehmen werden.

Durch den Klimawandel wird es auch zu einer Verschiebung der bekannten Klimazonen kommen. Im Schnitt wird sich die globale Temperatur erhöhen, wobei Extremwetterereignisse mit besonders tiefen Temperaturen und weitreichenden Folgen für die Vegetation weiterhin nicht ausgeschlossen werden können. Durch die Verschiebung der Klimazonen wird sich jedoch auch die Flora und Fauna verändern, wobei es zum Aussterben einiger Arten durch den Verlust ihres Lebensraums kommen wird und manche Gebiete im schlimmsten Fall generell für viele Lebewesen unbewohnbar werden könnten. Mit der Wanderung der Tiere werden auch Krankheiten in neue Gebiete vordringen. So wurde etwa in einer aktuellen Studie vor Malaria-

übertragenden Mücken gewarnt, die langsam ihren Weg in den Mittelmeerraum suchen [Hertig, 2019]. Doch auch Menschen werden aufgrund der sich veränderten klimatischen Bedingungen migrieren müssen, was wiederum Spannungen in der Gesellschaft hervorrufen könnte [Xu et al., 2020].

2.1.4 Auswirkungen des Klimawandels auf Österreich

Die Konsequenzen des Klimawandels sind bereits seit einiger Zeit auch in Österreich erkennbar. So ist etwa der Trend hin zu immer höheren Temperaturen klar ersichtlich: die 14 wärmsten Jahre der 252-jährigen Messgeschichte wurden allein seit dem Jahr 1994 aufgezeichnet (siehe Abb. 2.5 und Abb. 2.6). Das wärmste Jahr seit Aufzeichnungsbeginn stellte das Jahr 2018 dar, wobei lokale Rekorde bereits im darauffolgendem Jahr gebrochen wurden (etwa an den Messstationen “Graz-Universität” oder “Bad Gleichenberg” [ZAMG, 2019]). Im Mittel stieg die durchschnittliche Jahrestemperatur in Österreich seit 1880 um knapp 2 Grad an [Steininger et al., 2015]. Mit der großen Hitze ging auch oft Trockenheit einher. So gab es im Jahr 2018 z.B. in Vorarlberg oder großen Teilen von Niederösterreich um 20 bis 40 Prozent weniger Niederschlag als in einem durchschnittlichen Jahr (siehe auch Abb. 2.7) [ZAMG, 2018]. In Linz wurde mit einer Niederschlagsmenge von lediglich 520 Millimetern überhaupt das trockenste Jahr seit Aufzeichnungsbeginn dokumentiert [ZAMG, 2018]. Aufgrund dessen ist es wenig verwunderlich, dass der österreichische Klimastatusbericht 2018 den Schwerpunkt “Hitze und Trockenheit” hatte [Stangl et al., 2019].

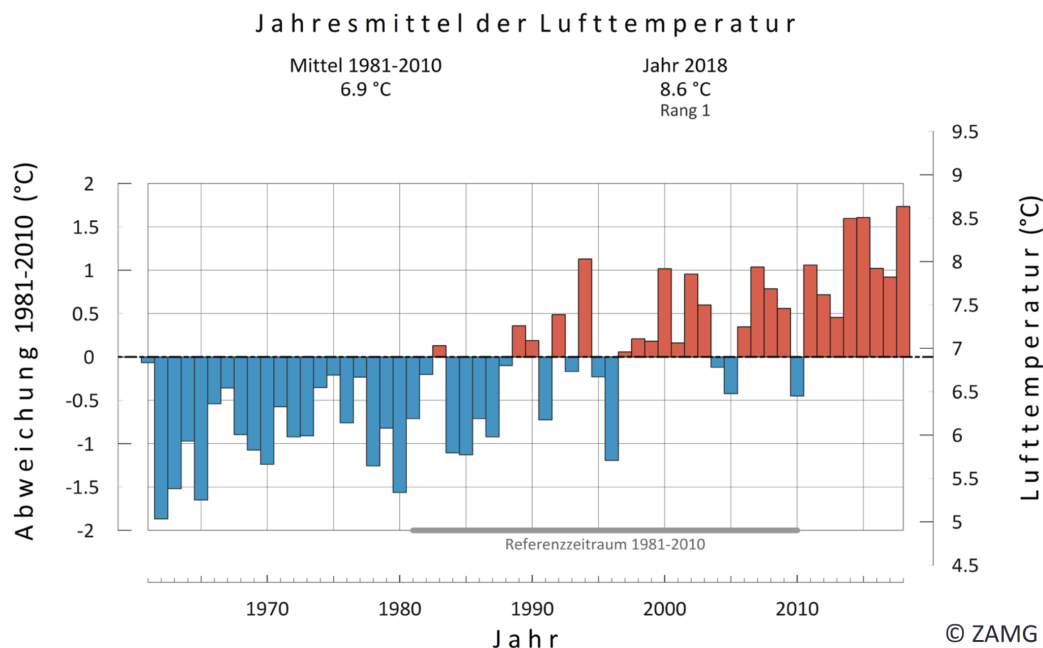


Abb. 2.5. Grafische Darstellung der Jahresmittelwerte der Lufttemperatur für Österreich von 1961-2018 [Stangl et al., 2019, S. 2]

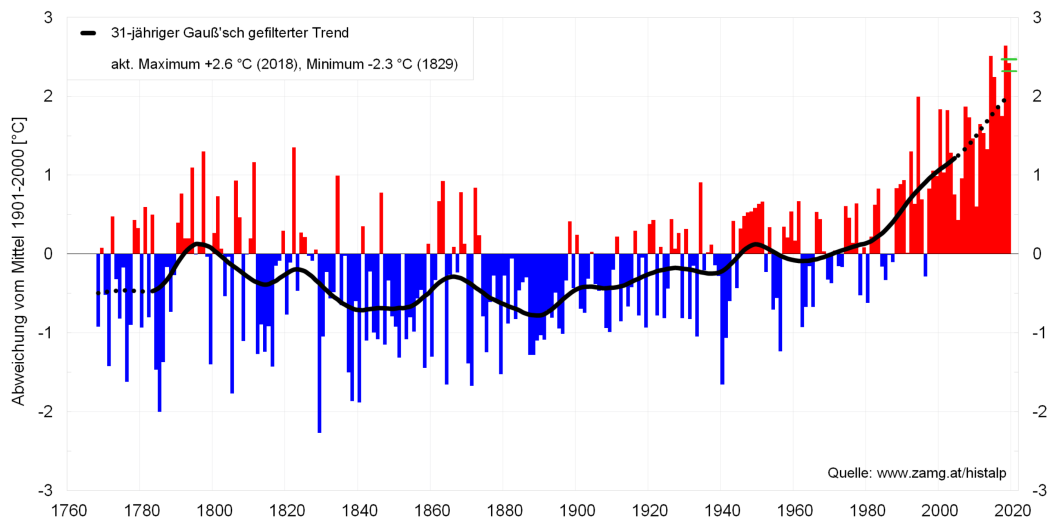


Abb. 2.6. Grafische Darstellung der Jahresmittelwerte der Lufttemperatur für Österreich (Tiefland) von 1768 bis 2019 [ZAMG, 2019] (abrufbar unter https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/2019-eines-der-drei-waermsten-jahre-der-messgeschichte/image/image_view_fullscreen, letzter Zugriff: 17.08.2020).

Eine weitere Folge der erhöhten Durchschnittstemperatur in Österreich ist der Rückgang der Gletschergebiete (z.B. Lambrecht und Kuhn [2007]). Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts könnte Österreich laut einer aktuellen Studie gar 80 bis 96 Prozent seiner Gletscherfläche verloren haben [Hanzer et al., 2018]. Auch wenn Österreichs Gletscher global gesehen keinen nennenswerten Einfluss auf das Klima haben, so ist deren Rückgang doch ein mahnendes Beispiel für den rasanten Verlauf des Klimawandels (siehe Abb. 2.8).

Neben der Hitze und der Trockenheit kam es allerdings in Österreich in den letzten Jahren auch vermehrt zu Naturkatastrophen wie Hochwasser, Muren, schweren Windböen, Hagel und Lawinenabgängen aufgrund großer lokaler Schneemengen (siehe Abb. 2.9).

2018 ging als Jahr der Extremwetterereignisse ein, von dem jede Region Österreichs betroffen war. Neben persönlichen Schicksalen wie überfluteten Wohnhäusern, abgedeckten Dächern oder sogar Personenschäden, zeigen sich auch ganze Wirtschaftssektoren unmittelbar durch diese zunehmend auftretenden extremen Wetterereignisse betroffen. Dr. Kurt Weinberger, Vorstandsvorsitzender der Österreichischen Hagelversicherung, sprach etwa von einem Gesamtschaden in der Landwirtschaft von 270 Millionen Euro allein im Jahr 2018 [Österreichische Hagelversicherung, 2018]. Das interdisziplinäre Projekt *COIN (Cost of Inaction – Assessing Costs of Climate Change for Austria)* unter der Leitung von Karl W. Steininger von der Universität Graz hat sich zur Aufgabe gestellt, die Kosten des Klimawandels für Österreich zu evaluieren [Steininger et al., 2015]. Ein Konsortium von zwölf österreichischen

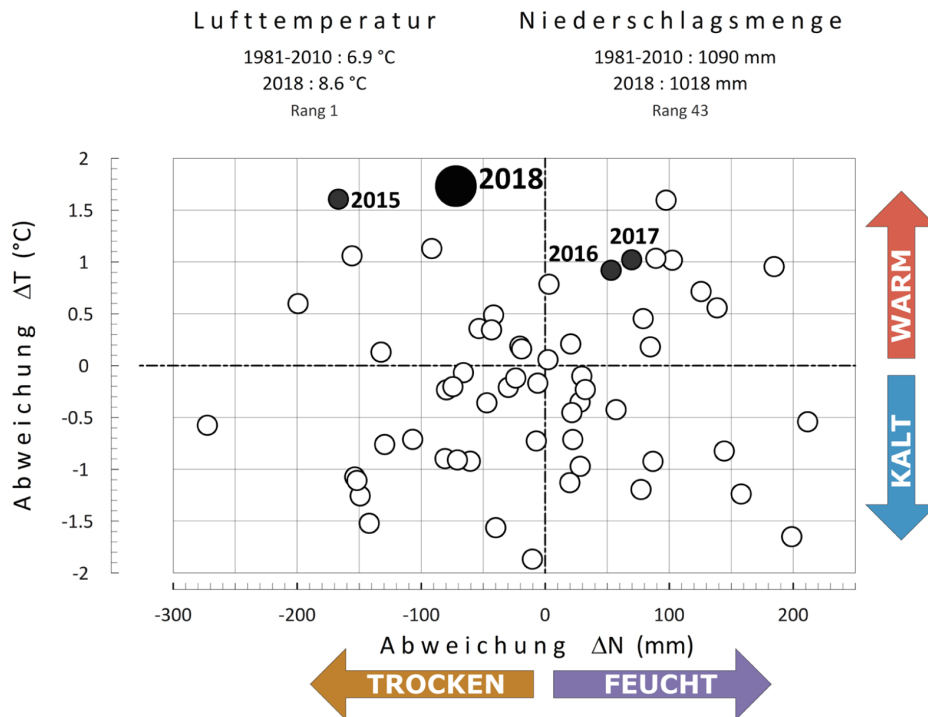


Abb. 2.7. Grafische Gegenüberstellung der Jahresniederschlagsmengen zu den durchschnittlichen Lufttemperaturen der Jahre 1981 bis 2018 [Stangl et al., 2019, S. 3]

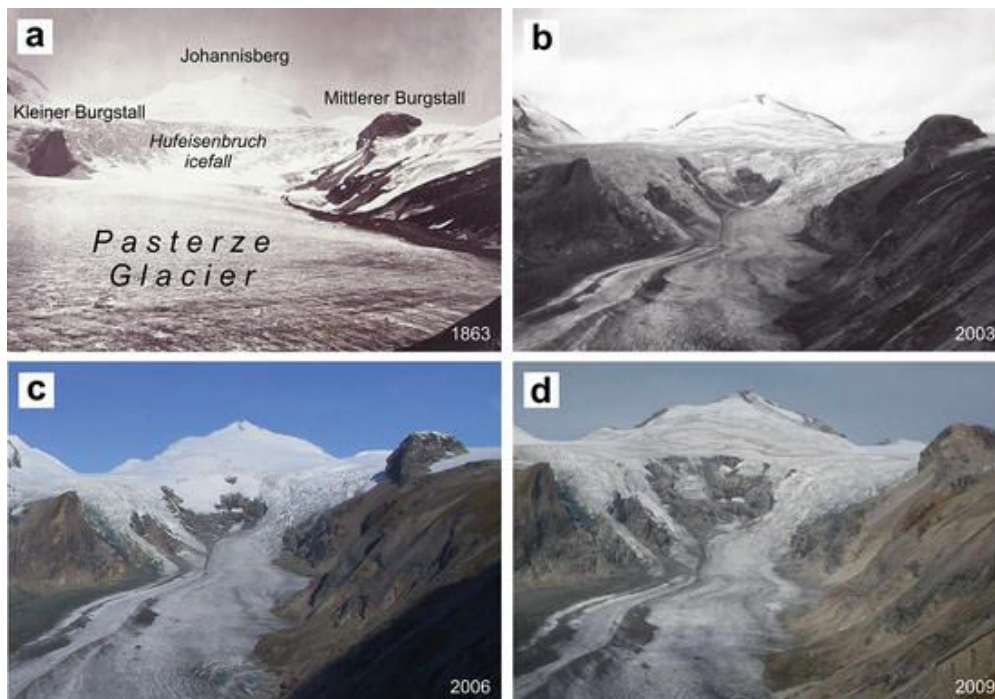


Abb. 2.8. Vergleich der Ausdehnung der Pasterze aus dem Jahr 1863 mit aktuelleren Aufnahmen aus den Jahren 2003, 2006 und 2009 [Kaufmann et al., 2015, S. 177]

Forschungseinrichtungen hat dabei die negativen als auch womöglich positiven Auswirkungen auf 13 Bereiche und Aktivitätsfelder der österreichischen Wirtschaft und Gesellschaft untersucht. Die Landwirtschaft könnte theoretisch ihr Ertrags-

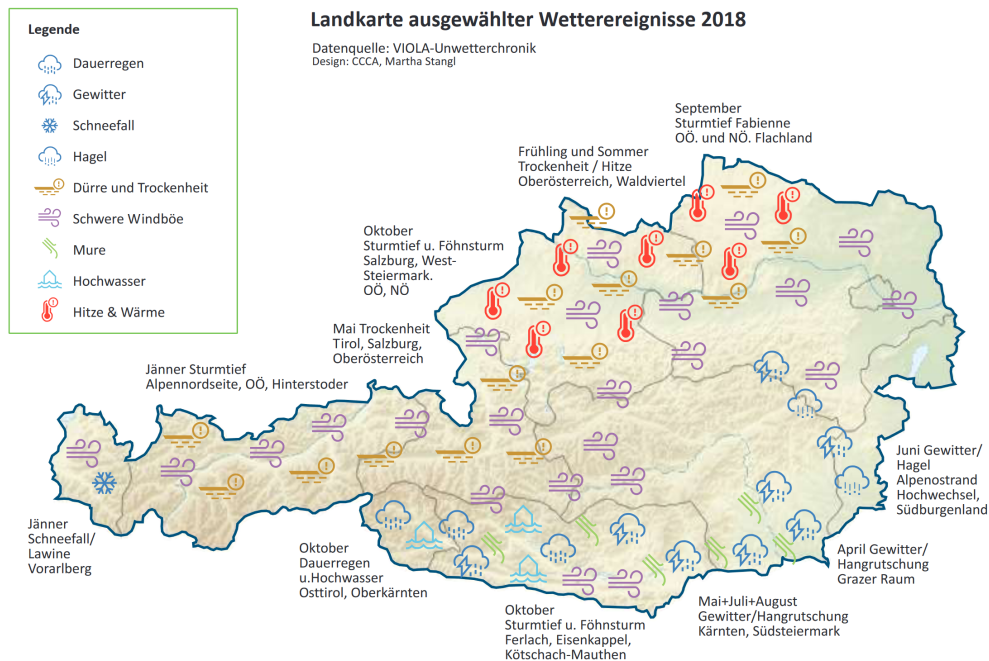


Abb. 1.9 Landkarte ausgewählter Wetterereignisse 2018, Datenquelle: Viola-Unwetterchronik, Design CCCA

Abb. 2.9. Ausgewählte Wetterereignisse aus dem Jahr 2018 [Stangl et al., 2019, S. 8]

potenzial aufgrund der höheren Temperaturen im Mittel steigern, wobei jedoch extreme Wetterereignisse, höhere Investitionen (z.B. für Bewässerungsanlagen) und Störungen von Ökosystemfunktionen (z.B. Stichwort Bienensterben) dem massiv entgegenwirken werden. Bei der Forstwirtschaft werden wohl die negativen Effekte wie Zunahme der Borkenkäferbestände, Dürre und starke Windböen die positiven übersteigen. Die höheren Temperaturen werden sich in Zukunft auch vermehrt auf die Gesundheit der österreichischen Bevölkerung auswirken. Dabei ist vor allem mit einer höheren Todesrate der älteren bzw. chronisch kranken Menschen zu rechnen. Durch die höheren Temperaturen könnte der Energiebedarf im Winter für Heizungen zurückgehen, wobei jener für Kühlsysteme im Sommer ansteigen wird. Da in Österreich der Großteil der erneuerbaren Energie aus Wasserkraftwerken bezogen wird, könnten hier längere Dürreperioden zu einem Versorgungsproblem führen, dass entweder durch Importe oder durch zusätzliche, alternative Kraftwerkskapazitäten ausgeglichen werden muss. In Städten wird das Phänomen der Hitzeinseln weiter verstärkt auftreten, dass u.a. auf der Versiegelung der Grundflächen beruht. Während der Sommertourismus in Zukunft vom Klimawandel profitieren könnte, wird der Wintertourismus vermutlich extreme Einbußen hinnehmen müssen.

Beim Blick auf die Auswirkungen des Klimawandels auf das Bruttoinlandsprodukt (BIP) muss man laut der COIN-Daten ein wenig vorsichtig sein. So kann es zwar zu Produktionsausfällen aufgrund von Wetterextremen kommen, jedoch kann man in Folge einen Zuwachs des BIPs erkennen, der durch die Einnahmen von Wiederaufbauarbeiten zu erklären ist. Somit kann netto betrachtet teilweise eine kurzfristige

Erhöhung des BIPs gemessen werden. Die im Zuge des COIN-Projekts berechneten gesellschaftlichen Schäden, verursacht durch die Klimaerwärmung, werden von momentan geschätzten eine Milliarden Euro auf jährlich 4.2 bis 5.2 Milliarden Euro um die Jahrhundertmitte ansteigen. Dabei wurden nur bedeutende Naturkatastrophen sowie hitzebedingt-frühzeitige Todesfälle miteinberechnet und ein mittleres Klimawandelszenario verwendet.

2.2 Reaktionen auf den Klimawandel

Die Anfänge der Klimaforschung

Dass der Mensch und sein Handeln das globale Klima drastisch beeinflusst, wurde bereits im 19. Jahrhundert von einigen Wissenschaftlern untersucht. Als Grundlage für diese Studien galt der von Joseph Fourier im Jahr 1824 erstmals beschriebene Treibhauseffekt [Weart, 2008]. Fouriers Theorie wurde später von Claude Pouillet, Eunice Newton Foote und John Tyndall erweitert, und schließlich durch Svante Arrhenius und Thomas Chamberlin Ende des 19. Jahrhunderts auch erstmals für eine quantitative Vorhersage verwendet [Weart, 2008, Corfee-Morlot et al., 2007]. Dabei war es Arrhenius, der erstmals die Verknüpfung zwischen Klimawandel und der Verbrennung von fossilen Brennstoffen und der dadurch ansteigenden CO₂-Konzentration in der Atmosphäre herstellte. Er berechnete, dass eine Reduzierung um die Hälfte einen globalen Temperaturrückgang um etwa 5-6 °C bewirken würde – eine Abschätzung, die auch heute noch gültig ist [Corfee-Morlot et al., 2007].

In den darauffolgenden Jahrzehnten geriet dieses Thema wieder in Vergessenheit, bis schließlich der britische Ingenieur Guy Stewart Callendar den Treibhauseffekt und seine Folgen in einer Vortragsreihe in den Jahren 1938 bis 1942 wieder aufgriff und neue Nachweise der globalen Erwärmung lieferte [Corfee-Morlot et al., 2007]. Es brauchte allerdings ein weiteres Jahrzehnt, bis eine größere Zahl an Wissenschaftlern sich des Themas wieder annahm. Besonders die Arbeit des Amerikaners Charles David Keeling von der Scripps Institution of Oceanography (UC San Diego) ist dabei hervorzuheben. Dieser startete 1958 die weltweit erste permanente CO₂-Messstation auf dem Mauna Loa auf Hawaii (und eine Station in der Antarktis), die bis heute noch in Betrieb ist. Dadurch kann seit mehr als einem halben Jahrhundert der stetige CO₂-Anstieg aufgezeichnet werden. Die durch diese Messungen erzeugte und nach ihm benannte Keeling-Kurve (siehe Abb. 2.10) gilt als eine der wichtigsten Argumente der Klimabewegungen heutzutage [Corfee-Morlot et al., 2007].

In den 1960ern begann auch die Politik und die Gesellschaft sich immer mehr für das Thema zu interessieren, wobei die Klimamodelle aufgrund der immer leistungsstär-

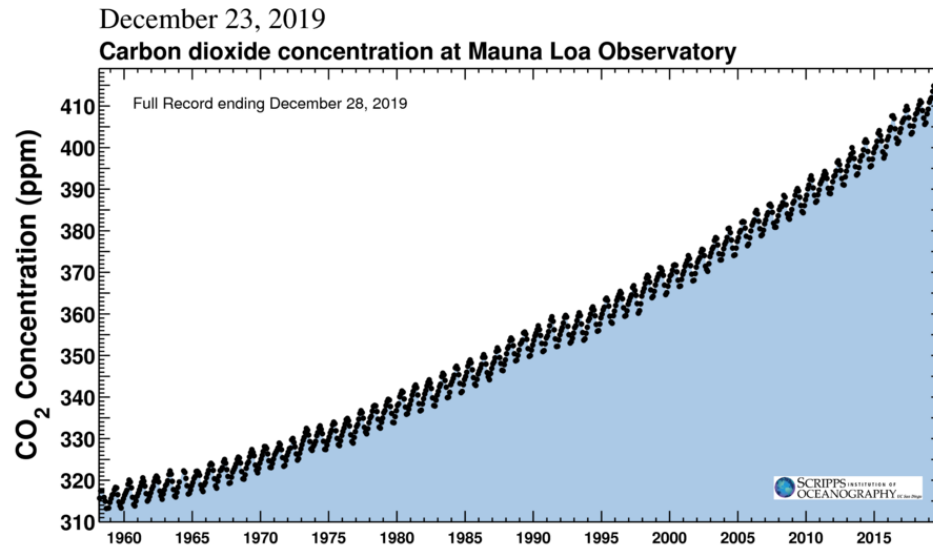


Abb. 2.10. CO₂-Konzentration auf dem Mauna Loa auf Hawaii von 1957 bis 2019 (Keeling-Kurve, aktuelle Kurve abrufbar unter <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>, letzter Zugriff: 29.12.2019), ©Scripps Institution of Oceanography.

keren Computer detaillierter wurden. Jedoch wurden gerade in dieser Zeit immer mehr Studien veröffentlicht, die einen globalen Temperaturrückgang aufgrund der erhöhten Aerosolemissionen prognostizierten [Peterson et al., 2008].

Politische Reaktionen auf den Klimawandel: Die Einführung von Klimakonferenzen, Institutionen und Umweltabkommen

Im Jahr 1979 fand in Genf die erste, von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) organisierte, internationale Weltklimakonferenz statt (First World Climate Conference (WCC-1)). Das wichtigste Ergebnis dieser ersten Konferenz war folgender Appell [WMO, 1979, S. 713]:

“Having regard to the all-pervading influence of climate on human society and on many fields of human activity and endeavour, the Conference finds that it is now urgently necessary for the nations of the world:

- (a) to take full advantage of man’s present knowledge of climate;*
- (b) to take steps to improve significantly that knowledge;*
- (c) to foresee and to prevent potential man-made changes in climate that might be adverse to the well-being of humanity.”*

Im Zuge dieser Konferenz wurde auch das Weltklimaprogramm (World Climate Programme (WCP)) ins Leben gerufen. Die Idee hinter diesem Programm war, die Klimaprozesse durch ein koordiniertes internationales Studium der Klimaschwankungen und Klimaänderungen besser zu verstehen. Weiters sollte es als Überwachungsapparat (*Monitoring*) der globalen Treibhausgaskonzentrationen, des Ozonlochs und des Phänomens *El Niño* agieren. Nach 1979 fanden in den Jahren 1990 und 2009 noch zwei weitere Weltklimakonferenz statt (beide Male ebenfalls in Genf).

Neben der steigenden Konzentration von CO₂ in der Erdatmosphäre wurden auch bald FCKW als äußerst schädliches Spurengas identifiziert. In den 1970er und 80er Jahren konnte nachgewiesen werden, dass diese organischen Verbindungen einen großen Anteil an der Entstehung und Verdünnung der Ozonschicht haben. Um dieser Entwicklung Einhalt zu gebieten, wurde im Zuge der *Konferenz zum Schutz der stratosphärischen Ozonschicht* in Wien (1985) eine erste Konvention erlassen. Zwei Jahre später wurde diese dann durch das *Montreal-Protokoll* konkretisiert. Dieses Protokoll ist ein multilaterales Umweltabkommen, das den verpflichtenden Ausstieg aus dem Einsatz von FCKW festlegte. Das *Montreal-Protokoll* ist der bisher einzige Vertrag, der von allen 197 Mitgliedstaaten der Vereinten Nationen (UN) unterzeichnet wurde [UN Environment, 2019]. Erfreulicherweise zeigte dieses Protokoll bereits (teilweise) seine Wirkung. Neueste Studien zeigen, dass wir ohne das FCKW-Verbot heutzutage auch mit einer stärkeren Klimaerwärmung zu kämpfen hätten, da FCKW auch zu den extrem potenten Treibhausgasen zählen. Die Forscher um Goyal zeigten in ihren Modellen, dass über den stark besiedelten Gebieten der Erde die Atmosphäre heute um 0.5 bis 1 °C wärmer sein könnte [Goyal et al., 2019]. Wie bereits erwähnt, ist das Ozonloch 2019 auf die geringste Ausdehnung seit seiner Entdeckung geschrumpft [NASA, 2019]. Jedoch konnte die beobachtete fortschreitende Ausdünnung der Ozonschicht in der unteren Stratosphäre bislang noch nicht ausreichend gestoppt werden [Ball et al., 2018].

In sogenannten *teilfluorierten Kohlenwasserstoffen* (HFKW) wurde schnell ein Ersatz für die seit den 1970ern verrufenen FCKW gefunden, das vor allem bei Kälte- und Klimaanlage zum Einsatz kam. Diese chemische Substanz greift zwar nicht die Ozonschicht an, ist jedoch trotzdem ein sehr starkes Treibhausgas. Da in den letzten Jahrzehnten die globale Nachfrage nach Kälte- und Klimaanlage immer mehr gestiegen ist, wurde diese Ersatz-Chemikalie auch schnell zu einem großen Problem. Im Jahr 2016 wurde schließlich das Montreal-Protokoll durch den *Beschluss von Kigali* zur Vermeidung des Einsatzes von HFKW ausgeweitet [BMNT, 2019, UN Environment, 2019]. Die EU ist bereits ein Jahr vorher eingeschritten und hat mit der Verordnung (EU) Nr. 517/2014 (EU F-Gase-Verordnung) den ersten Schritt gegen die weitere Verwendung von HFKW gesetzt. Mögliche Alternativen für HFKW sind Propan oder auch transkritische CO₂-Anlagen.

Im November 1988 wurde der *Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)* vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und der WMO gegründet. Die Aufgabe dieses Rates liegt darin, die aktuellsten wissenschaftlichen Erkenntnisse so zusammenzufassen, dass sie politischen Entscheidungsträgern als Grundlage für ihre umweltrelevanten Entscheidungen dienen können. Dabei sollen die Resultate ohne jedwede Handlungsempfehlung präsentiert werden. Der Weltklimarat hat seinen Sitz in Genf und veröffentlicht regelmäßig Sachstandsberichte (*IPCC Assessment Reports*). Diese Berichte werden stets in drei Bänden veröffentlicht. Der erste Band beschäftigt sich mit den naturwissenschaftlichen Aspekten des Klimawandels, der zweite mit den Auswirkungen des Klimawandels auf sozioökonomische und natürliche Systeme und Möglichkeiten der Anpassung, und der dritte mit politischen und technologischen Maßnahmen um den Klimawandel zu mindern. Jeder dieser Bänder wird jeweils von einer Arbeitsgruppe erstellt, die aus vielen Dutzenden unabhängigen internationalen Wissenschaftlern bestehen. Bisher wurden fünf Berichte veröffentlicht (1990, 1995, 2001, 2007 und 2013/14) und der nächste soll 2012/22 folgen [IPCC, 2019]. 2007 erhielt der Weltklimarat gemeinsam mit Al Gore den Friedensnobelpreis [Nobel Media, 2007].

Im Jahr 1992 wurde das *Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UN Framework Convention on Climate Change)* verabschiedet und 1994 trat es dann schließlich in Kraft. Das Hauptaugenmerk dieses Übereinkommens liegt darin, die Konzentration der Treibhausgase in der Erdatmosphäre auf einem Niveau zu halten, sodass gefährliche anthropogene Interferenzen mit dem Klimasystem verhindert werden können [UN, 1992, Artikel 2]. Dieses Niveau soll allerdings so erreicht werden, dass das Ökosystem genug Zeit zur natürlichen Anpassung an den voranschreitenden Klimawandel hat, dass die Nahrungsproduktion keinen Schaden trägt, und dass wirtschaftliche Entwicklung dennoch möglich ist [UN, 1992, Artikel 2]. Das Übereinkommen wird von 197 Vertragsstaaten getragen und wurde bisher von 165 Staaten unterschrieben² [UN Treaty Collection, 2019]. Diese treffen sich jährlich zu der UN-Klimakonferenz (*Weltklimagipfel*), wo grundlegende und konkrete Maßnahmen zum Klimaschutz verhandelt werden (sollten). Zwei Konferenzen haben dabei in den letzten Jahrzehnten besondere Aufmerksamkeit genossen. So wurde bei der Konferenz 1997 in Kyoto das nach dem Austragungsort benannte *Kyoto-Protokoll* beschlossen, dass für die Jahre 2005 bis 2012 in Kraft treten sollte. Dieses gilt als ein Zusatzprotokoll zum oben beschriebenen Übereinkommen und stellt weltweit den ersten völkerrechtlich verbindlichen Vertrag zur Eindämmung des Klimawandels dar. Eine wichtige Voraussetzung für das Inkrafttreten des Protokolls war, dass mindestens so viele Länder beitreten mussten, die für mehr als 55 % der

²Bisher nicht unterschrieben haben (Stand Dezember 2019): Albanien, Andorra, Bosnien & Herzegowina, Brunei, Kambodscha, Dominica, Äquatorialguinea, Eritrea, Georgien, Irak, Kuwait, Kirgisistan, Laos, Nordmazedonien, Montenegro, Niue, Palau, Palästina, Katar, St. Vincent und die Grenadinen, Saudi Arabien, Serbien, Somalia, Süd-Sudan, Syrien, Tadschikistan, Osttimor, Tonga, Türkei, Turkmenistan, Vereinigte Arabische Emirate und Usbekistan.

weltweiten CO₂-Emissionen im Jahr 1990 verantwortlich waren. Das Protokoll lief daher Gefahr zu scheitern, als die USA, mit 36.1 % CO₂-Ausstoß (im Jahr 1990) einer der “big player”, bekannt gab dem Vertrag nicht beizutreten [Europäische Kommission, 2003]. Durch die Zusage Russlands nur wenige Monate vor dem angedachten Start konnte das Protokoll aber doch wie geplant 2005 anlaufen. Beim *Kyoto-Protokoll* werden klare nationale Grenzen für den maximalen Ausstoß von sechs spezifischen Treibhausgasen (CO₂, CH₄, N₂O, HFKW, FKW, und SF₆) vorgegeben. So haben sich teilnehmende Industriestaaten dazu verpflichtet, die Emission dieser Gase um durchschnittlich 5.2 % gegenüber dem Wert von 1990 (für CO₂, CH₄, N₂O) bzw. 1995 (für HFKW, FKW, und SF₆) in dem Zeitraum von 2008 bis 2012 zu reduzieren [Europäische Kommission, 2003]. Die EU hat sich sogar zu einer Reduzierung um 8 % verpflichtet und dieses Ziel mit einer Reduktion um 12.2 % klar übertroffen [Europäische Kommission, 2013]. Österreich (Ziel: -13 %), sowie Litauen, Spanien, Finnland und Italien haben dabei allerdings ihre nationalen Ziele nicht erreichen können [Europäische Kommission, 2013]. Ende 2012 wurde eine zweite Verpflichtungsperiode mit Zeitraum 2013-2020 verabschiedet. Hier hat sich Österreich zu einer Reduktion von 16 % (im Vergleich zu 2005) bis zum Jahr 2020 verpflichtet [BMNT, 2019]. Wie man an Abb. 2.11 erkennen kann, ist Österreich auch in den letzten Jahren immer noch weit vom Erreichen des Kyoto-Ziels entfernt.

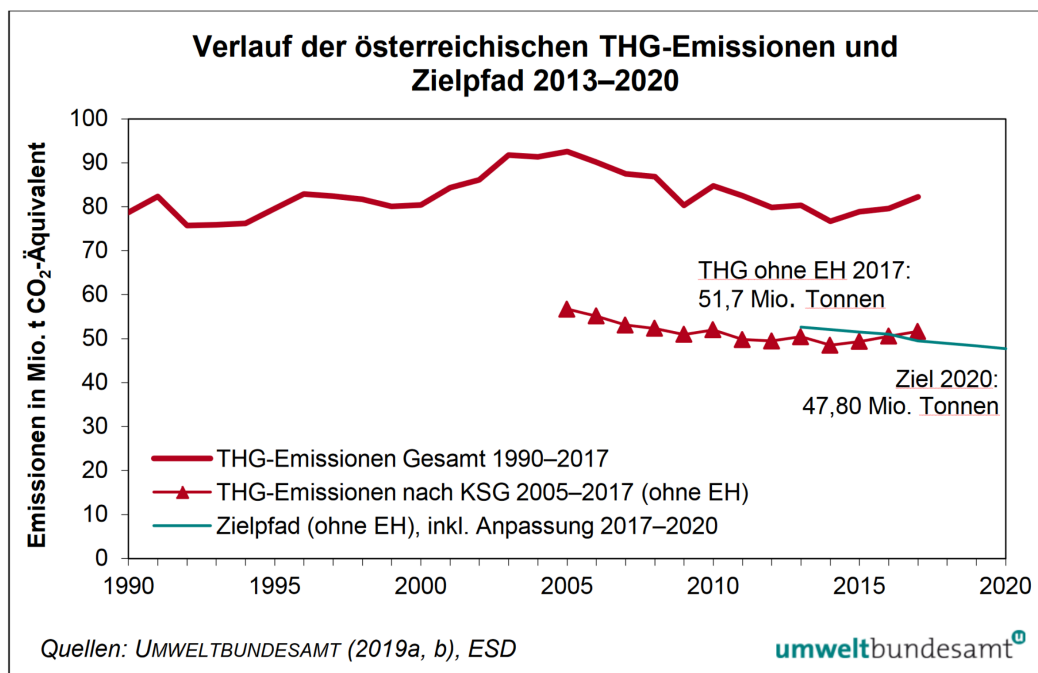


Abb. 2.11. Verlauf der österreichischen Treibhausgasemissionen von 1990-2017 und Zielpfad [Umweltbundesamt, 2019, S.6]. THG=Treibhausgase, KSG=Klimaschutzgesetz, EH=Emissionshandel

Viele EU-Staaten (auch Österreich) konnten ihr Ziel nur aufgrund von Emissionshandel erreichen. Staaten sowie Unternehmen können durch den Erwerb von Emissionsrechten eine bestimmte Menge Treibhausgase freisetzen. Dabei wird die Anzahl

dieser Umweltzertifikate lokal (z.B. EU-weit) durch eine Obergrenze begrenzt, die im Laufe der Jahre immer weiter gesenkt wird. Akteure, die ihr Ziel erreichen bzw. es womöglich sogar unterbieten, können so nicht benötigte Zertifikate an andere Länder/Unternehmen verkaufen. Einen großen Kritikpunkt an dem Protokoll stellt neben der Nichtbeteiligung der USA auch das alleinige verpflichtende Handeln für Industriestaaten dar, wohingegen Entwicklungsländer zu keiner Reduzierung der Treibhausgasemissionen verpflichtet sind [BMNT, 2019].

Beim Klimagipfel 2015 in Paris wurde das nächste globale Klimaübereinkommen beschlossen. Das österreichische Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus fasst die Ziele wie folgt zusammen:

"Das Übereinkommen von Paris markiert einen großen Durchbruch in der internationalen Klimapolitik. Es sieht als Ziele u.a. vor, dass

- die globale Erderwärmung auf maximal zwei Grad Celsius gegenüber vorindustriellen Werten begrenzt werden soll und zudem Anstrengungen unternommen werden sollen, den Anstieg auf 1,5 Grad Celsius zu begrenzen*
- die globalen Treibhausgasemissionen so bald wie möglich ihr Maximum erreichen sollen und bis Mitte des 21. Jahrhunderts auf (netto) null gesenkt werden sollen*
- alle Staaten der Welt alle fünf Jahre nationale Beiträge (Nationally-Determined Contributions, NDCs) zur Emissionsreduktion vorlegen und umsetzen müssen; dabei soll die Ambition kontinuierlich gesteigert werden*
- auch die Anpassung an unvermeidbare Folgen des Klimawandels umfassend behandelt wird sowie*
- Maßnahmen der Entwicklungsländer unterstützt werden (mittels Kapazitätsaufbau, Technologietransfer und Finanzierung)."*³

Neben diesem Pariser Klimaabkommen wurden für die EU schon im Jahr 2007 zusätzliche Zielvorgaben beschlossen (EU Klima- und Energiepaket 2020; 2009 erlassen). Aus diesem EU-Paket gehen die auch in der Öffentlichkeit bereits bekannten "20-20-20-Ziele" hervor, die besagen, dass (1) die Treibhausgasemissionen um 20 Prozent gegenüber dem Stand von 1990 gesenkt werden sollen, (2) 20 Prozent der in der EU

³abrufbar unter https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen_wohnen_und_umwelt/klimaschutz/1/Seite.1000325.html (letzter Zugriff: 31.01.2020)

generierten Energien aus erneuerbaren Quellen kommen soll, und (3) die Energieeffizienz um 20 Prozent gesteigert werden soll [Europäische Kommission, 2011]. Im Oktober 2014 wurde vom Europäischen Rat der sogenannte “Rahmen für die Klima- und Energiepolitik bis 2030” angenommen. Hier wurden die 20-20-20-Ziele für 2020 auf 40-32-32.5 für das Jahr 2030 erweitert [Europäische Kommission, 2014]. Die österreichische Bundesregierung stellte im Dezember 2019 den überarbeiteten *Nationalen Klima- und Energieplan (NKEP)* für die Periode 2021-2030 vor [BMNT, 2019]. Die zu diesem Zeitpunkt regierende Expertenregierung wurde für diesen Plan allerdings stark kritisiert, da sie nötige Finanzierungen bzw. konkrete Maßnahmen schuldig blieb und dafür auf die nächste Regierung verwies [Die Presse, 2019]. Es bleibt abzuwarten, wie die aktuelle türkis-grüne Regierung mit dieser Herkulesaufgabe umgehen wird. Dass das Thema Ernst genommen wird, zeigt die Neuschaffung eines Klima-Superministeriums, in dem Umwelt, Verkehr bzw. Infrastruktur, Energie, Technologie und Innovation vereint wurden. Als Ministerin wurde hierfür Leonore Gewessler nominiert, die frühere Geschäftsführerin der Umweltorganisation *Global 2000*. In einer ersten Vorstellung des künftigen Regierungsprogramms wurde eine Nachbesserung des NKEP angekündigt inklusive dem ehrgeizigen Ziel einer Klimaneutralität Österreichs bis zum Jahr 2040 und einer Nutzung ausschließlich erneuerbarer Energiequellen bis 2030 [Die neue Volkspartei und Die Grünen – Die Grüne Alternative, 2020].

Im November 2018 stellte die Europäische Kommission ihre langfristige strategische Vision bis 2050 vor. Das Ziel ist es, dass die EU bis zum Jahr 2050 klimaneutral wird [Europäische Kommission, 2018]. Im Zuge dessen wurde auch eine Prognose zur Auswirkung des Klimawandels für Europa erstellt (siehe Abb. 2.12). Am 28. November 2019 hat das EU Parlament schließlich den Klimanotstand ausgerufen. Dieser vorwiegend symbolische Akt soll den Druck auf die Mitgliedstaaten zur Erfüllung der Klimaziele erhöhen [Europäisches Parlament, 2019].

Zivilgesellschaftliche Reaktion auf den Klimawandel (Fridays for Future)

Für viele sind die Maßnahmen, die von Seiten der Politik in den letzten Jahren beschlossen wurden, trotz aller Bemühungen zu wenig. Besonders eine Person hat sich bei diesem Kampf gegen Windmühlen besonders hervorgetan: Greta Thunberg. Die im Jänner 2003 in Stockholm geborene schwedische Umweltaktivistin hat etwas geschafft, was viele Nichtregierungsorganisationen (englisch *non-governmental organizations*, NGOs) und Aktivisten in den letzten Jahrzehnten vergeblich versucht haben: den Klimawandel salonfähig zu machen.

Greta Thunberg kam das erste Mal mit der Thematik in Berührung, als sie in der Volksschule einen Film über die Auswirkungen des Klimawandels sah [Alter et al., 2019]. Während die anderen Kinder danach wieder unbekümmert weiterleben

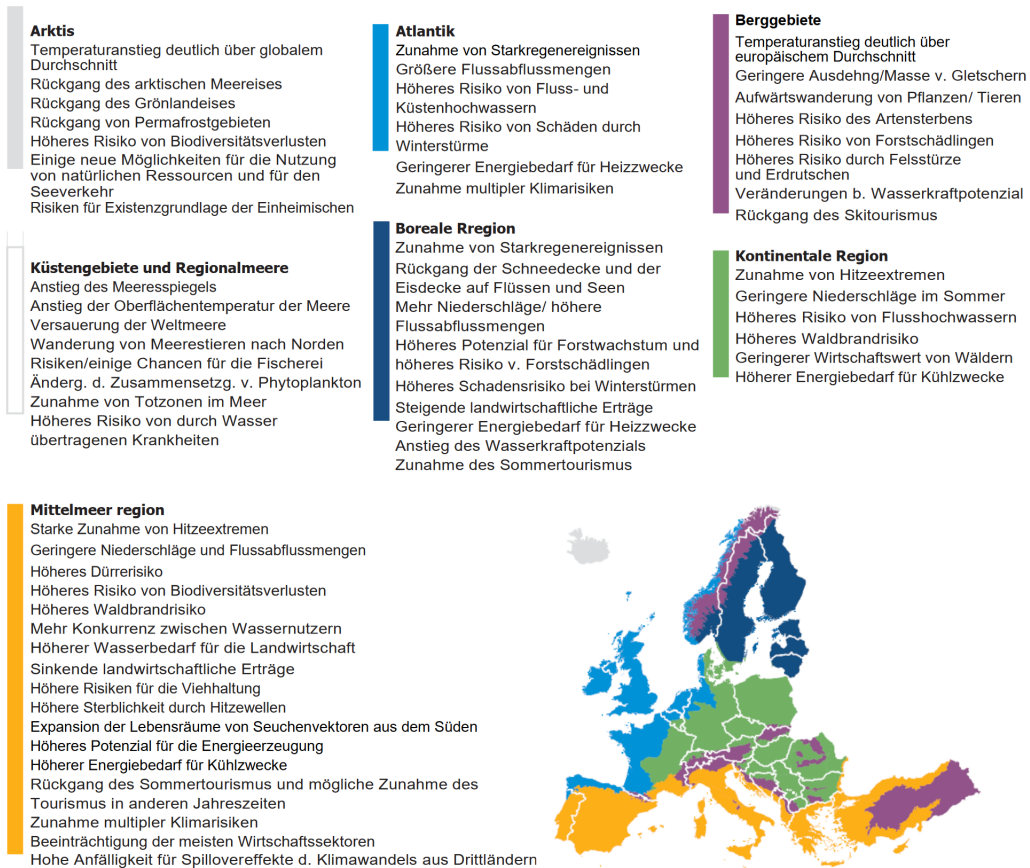


Abb. 2.12. Auswirkungen des Klimawandels in Europa, aus dem Report “COM(2018) 773 final” der Europäischen Kommission [Europäische Kommission, 2018, S. 3].

konnten, änderte sich Gretas Leben vollkommen. In einem Interview mit der BBC erzählte Svante Thunberg, Gretas Vater, dass die Klimakrise und der Umgang der Menschen damit bei Greta schwere Depressionen hervorgerufen hatte, was sie auch veranlasste eine Zeit lang nicht mehr zu sprechen und in einen Hungerstreik zu treten [Svante Thunberg, 2019]. Bei Greta wurde mit 12 Jahren das Asperger-Syndrom diagnostiziert, eine Variante des Autismus, die die extremen Reaktionen von Greta erklärt. Als Greta sich entschloss aktiv etwas für den Umweltschutz zu tun (z.B. nicht mehr zu fliegen oder vegan zu leben), besserte sich ihr Gemütszustand [Svante Thunberg, 2019]. Wenig später entschied Greta sich auch in der Öffentlichkeit aktiv für den Umweltschutz einzusetzen. Im Frühjahr 2018 schrieb sie einen Essay, der in einer schwedischen Zeitschrift gedruckt wurde [Alter et al., 2019]. Am ersten Schultag nach den Sommerferien 2018, am 20. August, streikte sie mit ihrem mittlerweile berühmt gewordenem Schild zum ersten Mal vor dem schwedischen Reichstag (siehe Abb. 2.13). Sie gab an, drei Wochen lang, d.h. bis zur Wahl des schwedischen Reichstags in diesem Jahr, streiken zu wollen. Nach der Wahl streikte Greta fortan jeden Freitag. Mit Greta Thunbergs Handeln zum Vorbild formten sich ab Ende 2018 weltweit immer mehr Schülerinnen und Schüler-Bewegungen, womit die *Fridays-for-Future*-Streiks ins Leben gerufen wurden. Mit dieser weltweiten

Solidaritätserklärung für Greta Thunberg wurde sie als auch Person immer gefragter. Sie wurde zu unzähligen Diskussionsrunden, Interviews und Konferenzen eingeladen. Besonders im Gedächtnis blieb dabei vor allem ihre “Wutrede” am 23. September 2019 im Zuge des UN-Klimagipfels in New York, in der sie sehr emotional den Politikern und Entscheidungsträgern vorwarf, sich der Klimakrise zu verschließen und der Jugend die Zukunft zu stehlen. Für ihre Engagement wurde sie u.a. mit dem Ambassador of Conscience Award von *Amnesty International* ausgezeichnet [Amnesty International, 2019] und von der Zeitschrift *Time* zur Person des Jahres 2019 gekürt [Alter et al., 2019].

Parallel zum UN-Klimagipfel in Madrid, fanden die bisher größten weltweiten Streiks am 20. und 27. September 2019 statt. Weltweit gingen hier mehrere Millionen Menschen in 150 verschiedenen Ländern auf die Straße um für ein Umdenken in der Klimapolitik zu demonstrieren [Alter et al., 2019].



Abb. 2.13. Greta Thunberg beim Demonstrieren vor dem schwedischen Reichstag, ©picture-alliance/dpa

Die Gegenbewegung: Klimawandelskeptiker und -leugner

Der Großteil der wissenschaftlichen Gemeinschaft teilt die Annahme, dass der momentane (rasante) Klimawandel primär vom Menschen verursacht wurde/wird und dass ein Entgegenwirken für eine gesicherte und stabile Zukunft unseres Planeten und vor allem seiner Bewohner unumgänglich ist (*Scientific consensus on climate change* [Anderegg et al., 2010, Cook et al., 2013, Powell, 2019, Ripple et al., 2019]). Das zeigt sich auch darin, dass beispielsweise die Universität Wien im Sommersemester 2018 die Frage “Wie retten wir unser Klima?” in den Vordergrund stellte [Universität Wien, 2018]. Allerdings tauchen auch immer wieder den oben genannten Prognosen entgegengerichte Arbeiten auf. So wird in einer eher als fragwür-

dig einzustufenden Studie vor einer möglichen kleinen Eiszeit um das Jahr 2030 gewarnt [Landscheidt, 2003]. In den USA wurde 2017 die Broschüre “Why Scientists Disagree About Global Warming” (inkl. DVD) an 200.000 Lehrer verschickt, in der gezeigt werden soll, dass der momentane Klimawandel nur natürliche Ursachen hat [Worth, 2017]. Im September 2019 wurde ein offenes Schreiben an die UN gerichtet, in dem vermeintliche Experten die potentielle Gefahr des Klimawandels bestreiten (*European Climate Declaration* vom 26. September 2019 der *Climate Intelligence Foundation* (Clintel)). In einem Interview berichtet John Cook, ein Professor am *Center for Climate Change Communication* an der *George Mason University* in den USA, dass nur ca. zehn Prozent aller amerikanischen Staatsbürger sich im Klaren sind, dass mehr als 95 Prozent der nationalen und internationalen Wissenschaftler sich einig sind, dass der Mensch an der momentanen Erderwärmung Schuld trägt [Oh, 2019]. Aber man muss erst gar nicht so weit blicken – auch im deutschsprachigen Bereich gibt es viele Klimawandelskeptiker, wie etwa das sogenannte *Europäische Institut⁴ für Klima & Energie* (EIKE) mit Sitz in Jena, Deutschland, welche auch eng mit der deutschen Partei *Alternative für Deutschland* (AfD) zusammenarbeitet. EIKE kann als Ableger des amerikanischen *Committee for a constructive tomorrow* (CFACT) gesehen werden [Rubner, 2010], das als einer der größten Akteure in der organisierten internationalen Klimawandelleugnerszene bezeichnet werden kann. Diese Verbindung zwischen EIKE und CFACT sieht man ganz klar darin, dass der Vorsitzende von EIKE auch gleichzeitig Vorsitzender von *CFACT Europe* ist [Rubner, 2010] und sich beide Vereine die gleiche Postanschrift teilen. Ebenfalls mit EIKE in Verbindung steht die *WerteUnion* in Bayern, die in ihrem “Klima-Manifest 2020” die Wissenschaft hinter den Klimawandeltheorien wortwörtlich als *Müll-Wissenschaft* bezeichnet [WerteUnion in Bayern - Konservativer Aufbruch, 2019].

Durch den rasanten Fortschritt der neuen Medien und dem damit verbundenen Ausbau des Internets ist die Informationsbeschaffung in den letzten 20 Jahren um vieles leichter geworden. Allerdings bietet gerade diese Überflutung an Informationen eine große Gefahr, da all diese Informationen, die jede Minute “gepostet”, “geshared”, oder “geliked” werden, so gut wie keinerlei Überprüfung unterzogen werden. Wenn man also nun als besorgteR BürgerIn mit wenig Vorkenntnissen etwa die Homepage des Vereins EIKE besucht, könnte man schnell dem Glauben verfallen, dass die Politik und die Gesellschaft einer großen Klimalüge aufsitzen. Ich sehe daher die Rolle der Lehrkräfte in der Klimadebatte als sehr wichtig an, da sie als WissensvermittlerInnen der jungen Generation das nötige Basis- und Hintergrundwissen vermitteln können, um solchen *Fake News* nicht in die Falle zu tappen. Das gilt natürlich nicht nur für die Klimadebatte, aber sie kann als erster Denkanstoß zur Erziehung kritischer und mündiger junger Erwachsener hergenommen werden.

⁴Ist in Wahrheit ein eingetragener Verein und kein wissenschaftliches Institut (Information dem deutschen Handelsregister entnommen, abrufbar unter https://www.handelsregister.de/rp_web/search.do unter dem Begriff “Unternehmensträgerdaten” (letzter Zugriff 16.02.2020)).

Fachliche und didaktische Aspekte

3.1 Klimawandel im Lehrplan der Sekundarstufe II

3.1.1 Einbettung in den aktuellen Lehrplan

Das Wort *Klimawandel* scheint im aktuellen österreichischen Lehrplan für die Oberstufe der allgemein bildenden höheren Schulen (AHS, Fassung vom 02.01.2020) nur ein Mal auf, und zwar bei dem Unterpunkt *Mensch und Gesellschaft* bei den *Beiträgen zu den Bildungsbereichen*, wobei hier der Fokus auf der *Entwicklung von rationaler Kritikfähigkeit bei gesellschaftlichen Problemen* liegt. Dasselbe gilt für den aktuellen Lehrplan für die Oberstufe der Sonderform *Gymnasium, Realgymnasium und Wirtschaftskundliches Realgymnasium für Berufstätige*.

Im Lehrstoff sucht man vergeblich nach dem Begriff. Beim Lehrstoff für Schulen mit mehr als sieben Wochenstunden Physikunterricht in der Oberstufe könnte man den Klimawandel vermutlich in der 5. Klasse beim Thema *Thermodynamik* im Zuge des Kapitel “nachhaltiger Umgang mit Energie” kurz behandeln. Das etwas offene Gebiet “aktuelle Forschung” im letzten Semester könnte sich auf den ersten Blick auch dafür eignen. Beim Lehrstoff der Schulen mit bis zu sieben Wochenstunden Physikunterricht in der Oberstufe ergibt sich dasselbe Bild.

Erweitert man die Suche auf verwandte Themen, stellt vermutlich das Kompetenzmodul 6 in der siebten Klasse (Schulen mit bis zu sieben Wochenstunden Physik in der Oberstufe) mit dem Thema *Strahlungshaushalt der Erde* das beste Rahmenthemenprogramm dar. Beim Lehrstoff von Schulen mit mehr als sieben Wochenstunden Physik in der Oberstufe soll der Strahlungshaushalt der Erde bereits im 5. Semester im Kompetenzmodul 5 besprochen werden. Diese Annahme wird bei einem Blick in die aktuellen Schulbücher bestätigt, die alle das Thema Klimawandel in dem Kompetenzbereich *Strahlungshaushalt der Erde* platzieren (siehe Abschnitt 3.1.2).

Wenn man auf die nicht einem einzelnen Unterrichtsgegenstand zugeordneten zehn *Unterrichtsprinzipien* blickt, findet man neben Themen wie etwa *Gesundheitsförderung*, *Politische Bildung* oder *Medienbildung* auch das Thema *Umweltbildung für*

nachhaltige Entwicklung. Diese zehn Unterrichtsprinzipien werden als Bildungs- und Erziehungsaufgabe der Schule gesehen und sollen dem Aufbau überfachlicher Kompetenzen dienen. Das Unterrichtsprinzip *Umweltbildung* wurde bereits 1979 in das österreichische Schulwesen aufgenommen [BMBWF, 2019] und ist stark mit der Initiative *Bildung für nachhaltige Entwicklung* (BNE, siehe Abschnitt 3.2) der Vereinten Nationen verknüpft. Ergänzend dazu wurde 2014 durch das damalige Bundesministerium für Bildung und Frauen (BMBF) der *Grundsatzterlass Umweltbildung für nachhaltige Entwicklung* veröffentlicht [BMBF, 2014]. Dieser Erlass gibt die Rahmenbedingungen für Bildung für nachhaltige Entwicklung als Unterrichtsprinzip an allen österreichischen Schulen vor.

Das Thema Klimawandel eignet sich natürlich auch großartig als Schwerpunkt in einem Wahlpflichtfach Physik (ebenso bzw. fächerübergreifend in Biologie und/oder Geographie und Wirtschaftskunde). Hier hat die Lehrperson mehr Freiheit auf die Bedürfnisse und Fragestellungen einzugehen, die die Schülerinnen und Schüler selber betreffen. Dabei können die dem Klimawandel zugrunde liegenden physikalischen Phänomene (z.B. Strahlungsgleichgewicht, Wärmekapazität, etc.) genauer betrachtet werden, wofür im Regelunterricht vermutlich keine Zeit bleibt.

3.1.2 Das Thema Klimawandel in ausgewählten Schulbüchern

Bei einem Vergleich der Schulbücher zu meiner Schulzeit (Anfang/Mitte der 2000er Jahre) und den heutigen ist klar erkennbar, dass vermehrt versucht wird auf aktuelle und SchülerInnen-relevante Themen einzugehen. Der Klimawandel ist dafür ein sehr gutes Beispiel. Beim Blick in die Schulbücher *Physik 6* von Sexl und Wessenberg-Raab (ISBN 3-209-04599-2) und *Physik 7* von Sexl, Kühnelt, Stadler und Sattlberger (ISBN 3-209-04931-9) aus den Jahren 2005 bzw. 2007 kann man ein kurzes Streifen der Thematik erkennen. In dieser Ausgabe von *Physik 6* kann man unter *Thermodynamik* das Kapitel V *Wärme- und Kältetechnik* finden, in dem bei dem Unterkapitel V.5 *Kraftwerke* auch auf einer halben Seite über die Verwendung fossiler Brennstoffe geschrieben wird – inklusive Hinweis auf die dadurch resultierenden klimatischen Veränderungen aufgrund des Treibhauseffekts. Im weiteren wird auch auf alternative bzw. erneuerbare Formen der Energiegewinnung eingegangen. In der Ausgabe von *Physik 7* aus dem Jahr 2007 wird im Zuge des Themas *Elektrodynamik* im Kapitel IV *Grundlagen der Elektrotechnik* kurz auf die *Energieversorgung* eingegangen. Auch hier wird kurz der Ausstoß von Treibhausgasen und seine Folgen für das Klima angesprochen. Weiters gibt es auch einen Paragraphen zum Thema Ökostrom, bezugnehmend auf das 2003 in Österreich in Kraft getretene Ökostromgesetz. Man kann an diesen Beispielen erkennen, dass auch schon vor knapp 15 Jahren der

Klimawandel hin und wieder angesprochen wurde, allerdings bei weitem nicht in dem Umfang, wie man ihn heutzutage in den Physik-Lehrbüchern findet.

Wie bereits im vorigen Abschnitt erwähnt, ist der Klimawandel in den heutigen Schulbüchern im Kompetenzbereich *Strahlungshaushalt der Erde* in der siebten Klasse zu finden. Dort wird ihm in allen drei im Folgenden vorgestellten Büchern ein eigenes Kapitel gewidmet. Diese Bücher stellen den gesamten Umfang der momentan erhältlichen Physik-Bücher für die Oberstufe des Österreichischen Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co (ÖBV) dar.

Das erste Buch, das ich vorstellen möchte, ist *Big Bang 7* von Martin Apolin (ISBN 978-3-209-04867-7)¹. Das Kapitel *Teil C Klima* hat lediglich ein Unterkapitel, das den Namen *Klimaänderung und erneuerbare Energie* trägt. Das Kapitel beginnt gleich mal mit einem Appell an die Schülerinnen und Schüler, dass jeder zum Handeln gezwungen ist, sollte man dem Klimawandel erfolgreich begegnen wollen. Danach folgt ein kurzer Überblick über die Entwicklung der Erdatmosphäre inklusive Schaukasten zum Thema Photosynthese. Im nächsten Unterkapitel wird der anthropogene Treibhauseffekt thematisiert. In einem kurzen Exkurs werden auch unterschiedliche Gruppen von Klimaskeptikern beschrieben. Es folgt ein Ausblick auf mögliche Zukunftsszenarien und notwendige Maßnahmen (inkl. kurzer Vorstellung des Kyoto-Protokolls). Danach folgen drei Unterkapitel zur Gewinnung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Solarenergie, Windenergie und Energie aus Biomasse). Im Allgemeinen kann man hier erkennen, dass der Autor den kritischen Umgang mit der Thematik bei den Schülerinnen und Schülern fördern und dass er ihnen klar machen möchte, dass dieses Thema uns alle betrifft und dass das Handeln jedes Einzelnen nötig ist. Die begleitenden Grafiken verdeutlichen die Informationen aus dem Text gut (bis auf die sehr vereinfachte Darstellung des Treibhauseffekts) und es werden viele Themen angesprochen, die man auch den aktuellen Nachrichten entnehmen kann. Auf der Internetseite² des ÖBV gibt es zusätzlich noch eine große Anzahl an ergänzendem Material zu diesem Kapitel.

Das zweite Buch, das hier vorgestellt werden soll, ist die aktuelle Version des oben bereits erwähnten Schulbuchs *Physik 7* von Sexl (diesmal zusammen mit Kühnelt, Stadler, Jakesch und Sattlberger; ISBN 978-3-209-08643-3). In der Einleitung des Kapitels *Klima* wird die Aktualität des Themas hervorgehoben und ein kurzer Überblick über die Klimageschichte der jüngsten Vergangenheit gegeben. Im ersten Unterkapitel wird gezeigt, wie man durch Verwendung der Leuchtkraft der Sonne die Oberflächentemperatur der Erde abschätzen kann. Da man hier mit -15 °C einen negativen Wert erhält, wird im folgenden Kapitel erklärt, dass der im Folgenden

¹Das ist eine ältere Version- die aktuelle Version dieses Lehrbuchs hat die ISBN 978-3-209-08589-4

²<https://www.oebv.at/node/3060/online-selection/71706/57015#57015>, letzter Zugriff: 02.01.2020

besprochene Treibhauseffekt für die höhere reale Temperatur verantwortlich ist. Dabei wird auch der anthropogene Treibhauseffekt vorgestellt. Im dritten und letzten Unterkapitel werden Zukunftsszenarien und mögliche Maßnahmen zur Eindämmung des Treibhauseffekts präsentiert. Wie aus dieser Reihe von Schulbüchern gewöhnt, ist auch dieses Kapitel geprägt von sehr viel (nüchternen) Text, der bei weitem weniger die emotionale Seite des Lesers ansprechen soll. Es werden viele Themen und Begriffe angesprochen, die vermutlich beim Studium durch die Schülerinnen und Schüler gewisse zusätzliche Recherchearbeiten nötig machen. Positiv hervorzuheben sind die vier vorgeschlagenen Experimente zu den Themen Treibhauseffekt und Golfstrom.

Als letztes Buch möchte ich das Buch *Physik compact – Basiswissen* von Nussbaumer, Nussbaumer und Zunzer (ISBN 978-3-209-08772-0) vorstellen. In diesem Schulbuch präsentiert sich das Thema Klimawandel weniger prominent als in den beiden vorigen Werken. Zu finden ist der Klimawandel im Kapitel 17 *Strahlungshaushalt der Erde*. Die erste Hälfte des Kapitels beschäftigt sich mit der Strahlungsbilanz der Erde, inklusive der Effekte der Absorption, Reflexion und Emission. Dann wird auf die Strahlungsbilanz eingegangen und gezeigt, dass diese durch das Zutun des Menschen nicht mehr ausgeglichen ist. Im zweiten Teil des Kapitels werden die Auswirkungen des Klimawandels aufgezeigt, wobei sich auch eine ganze Seite den Auswirkungen in Österreich widmet. Die Autoren dieses Schulbuches haben den Namen des Kompetenzbereichs *Strahlungshaushalt der Erde* am stärksten in ihrer Ausführung integriert. Trotz der Ausführungen zu Absorption, Reflexion und Emission bleiben uns die Autoren eine konkrete Erklärung des Treibhauseffekts schuldig. Dennoch vermitteln sie durch die ausgiebige Schilderung der Auswirkungen des Klimawandels den Eindruck, dass sie diesem Thema eine wichtige Rolle zukommen lassen wollen. Die vorgestellten Informationen in diesem Kapitel eignen sich auch gut als Basis für mögliche Lernendenreferate.

3.2 Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE)

3.2.1 Dimensionen und Kompetenzen

In den 1970ern kam im Zuge des allgemeinen Umdenkens in Sachen globale Umweltveränderungen und deren Folgen erstmals der Bildungsansatz der *Umweltbildung* auf, der dann bis in die 1990er speziell über den Begriff *Umwelterziehung* (im Englischen mit *environmental education* bezeichnet) in der Lehr- und Lernlandschaft verankert wurde [Dietjen, 2013]. Diese Bewegung basiert auf der Einsicht, dass Umweltressourcen endlich sind und ihre Nutzung gravierende Einflüsse auf die Lebensqualität der Menschen haben werden bzw. teilweise bereits jetzt haben [Gräsel, 2010]. Bei

der *Umwelterziehung* sollte den Schülerinnen und Schülern ein umweltverträgliches Verhalten beigebracht werden. Dieses Konzept galt spätestens ab Mitte der 1990er überholt und der Ruf nach einem überarbeiteten und verbesserten Bildungskonzept wurde laut. Jürgen Rost identifizierte 2002 sechs ungelöste Probleme der klassischen Umwelterziehung: (1) fehlende Motivierung der Schülerinnen und Schüler zum “richtigen” Handeln, (2) Umgang mit Komplexität, (3) fehlende überzeugende Ansätze der Werteerziehung, (4) Umgang mit polyvalenten Entscheidungssituationen, (5) Mangel an positiven Zielkriterien und (6) fehlendes kompetenzorientiertes Bildungskonzept [Rost, 2002]. Durch die internationale Bildungskampagne *Bildung für nachhaltige Entwicklung* (BNE) möchte man diesen Problemen entgegenwirken. Rost streicht dabei vor allem die *Kompetenz, Entwicklungen zu bewerten* (und dabei Wissen und Werte heranzuziehen) als zentrale Schlüsselkategorie hervor, die es gilt in didaktische Bemühungen zu integrieren [Rost, 2002]. So soll es ein Umdenken von der eher konservierenden, monovalenten und handlungsorientierten Umweltbildung hin zur entwicklungs-, werte- und kompetenzorientierten BNE geben [Rost, 2002]. Cornelia Gräsel sieht die großen Unterschiede zwischen *Umweltbildung* und BNE in der Bewegung weg von (1) einer “Katastrophenpädagogik” hin zu einem Modernisierungsszenario (Gestaltungsauftrag für die Zukunft), (2) einer reinen naturwissenschaftlichen Bildung hin zu einer globalen Vernetzung von Ökologie, Ökonomie und Sozialem und (3) reiner Erziehungsarbeit hin zu der Ausprägung einer Gestaltungskompetenz [Gräsel, 2010].

Dem Wort *Nachhaltigkeit* kann man momentan kaum entkommen. Das ursprünglich aus der Forstwirtschaft stammende Wort beschreibt die Nutzung von Ressourcen bei gleichzeitiger Bewahrung der natürlichen Regenerationsfähigkeit der beteiligten Systeme. Den Einzug in die Politik fand es durch den 1987 veröffentlichten *Brundtland-Bericht* (Our Common Future). In diesem UN-Bericht wurde der Begriff *nachhaltige Entwicklung* (*sustainable development*) definiert. Es gilt heute als eines der am häufigsten zitierten Werke der Umwelt- und Entwicklungsliteratur. Um die Umsetzung des Berichts zu gewährleisten wurden 1992 Rahmenvereinbarungen im Zuge der *Agenda 21* präsentiert. In den letzten Jahren wurde das Wort Nachhaltigkeit immer mehr zu einem wichtigen PR-Wort für PolitikerInnen und UnternehmerInnen.

Durch die Empfehlung des Weltgipfels für nachhaltige Entwicklung (*World Summit on Sustainable Development*, WSSD) im Jahr 2002 in Johannesburg wurde die Periode 2005-2014 von der UNO zur *Dekade Bildung für Nachhaltige Entwicklung* ausgerufen. Von der UNESCO wird BNE wie folgt definiert [UNESCO, 2014, S. 12]:

“BNE befähigt Lernende, informierte Entscheidungen zu treffen und verantwortungsbewusst zum Schutz der Umwelt, für eine bestandsfähige Wirtschaft und einer gerechten Gesellschaft für aktuelle und zukünftige Gene-

rationen zu handeln und dabei die kulturelle Vielfalt zu respektieren. Es geht um einen lebenslangen Lernprozess, der wesentlicher Bestandteil einer hochwertigen Bildung ist. BNE ist eine ganzheitliche und transformative Bildung, die die Lerninhalte und -ergebnisse, Pädagogik und die Lernumgebung berücksichtigt. Ihr Ziel / Zweck ist eine Transformation der Gesellschaft.”

Die Dimensionen des Konzept BNE sind Abb. 3.1 zu entnehmen. Bereits in der ersten Zeile dieser Dimensionen wird gefordert, dass das Thema Klimawandel in den Lehrplan aufgenommen werden soll.



Abb. 3.1. Dimensionen des Konzepts BNE (aus UNESCO [2014], S. 12).

Gemäß Gerhard de Haan dient BNE dem Erwerb von Gestaltungskompetenz [de Haan, 2008]. Diese zeichnet die Fähigkeit aus “[...] Wissen über nachhaltige Entwicklung anwenden und Probleme nicht nachhaltiger Entwicklung erkennen zu können. Das heißt, aus Gegenwartsanalysen und Zukunftsstudien Schlussfolgerungen über ökologische, ökonomische und soziale Entwicklungen in ihrer wechselseitigen Abhängigkeit ziehen und darauf basierende Entscheidungen treffen, verstehen und individuell, gemeinschaftlich und politisch umsetzen zu können, mit denen sich nachhaltige Entwicklungsprozesse verwirklichen lassen.” [BLK-Programm Transfer-21, 2007, S. 12]. Die Organisation

für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (englisch *Organisation for Economic Co-operation and Development*, OECD) wiederum unterscheidet zwischen drei Kompetenzkategorien, die wiederum folgende zwölf Teilkompetenzen beinhalten [Grundmann, 2017, S. 30]:

1. *”Interaktive Verwendung von Medien und Tools*

- Kompetenz zur *Perspektivübernahme*: Weltoffen und neue Perspektiven integrierend Wissen aufbauen
- Kompetenz zur *Antizipation*: Vorausschauend Entwicklungen analysieren und beurteilen können
- Kompetenz zur *disziplinenübergreifenden Erkenntnisgewinnung*: Interdisziplinär Erkenntnisse gewinnen und handeln
- Kompetenz zum *Umgang mit unvollständigen und überkomplexen Informationen*: Risiken, Gefahren und Unsicherheiten erkennen und abwägen können

2. *Interagieren in heterogenen Gruppen*

- Kompetenz zur *Kooperation*: Gemeinsam mit anderen planen und handeln können
- Kompetenz zur *Bewältigung individueller Entscheidungsdilemmata*: Zielkonflikte bei der Reflexion über Handlungsstrategien berücksichtigen können
- Kompetenz zur *Partizipation*: An kollektiven Entscheidungsprozessen teilhaben können
- Kompetenz zur *Motivation*: Sich und andere motivieren können, aktiv zu werden

3. *Eigenständiges Handeln*

- Kompetenz zur *Reflexion auf Leitbilder*: Die eigenen Leitbilder und die anderer reflektieren können
- Kompetenz zum *moralischen Handeln*: Vorstellungen von Gerechtigkeit als Entscheidungs- und Handlungsgrundlage nutzen können
- Kompetenz zum *eigenständigen Handeln*: Selbstständiges planen und handeln können
- Kompetenz zur *Unterstützung anderer*: Empathie für andere zeigen können”

Man erkennt dabei ganz klar die Orientierung an der Definition für “Kompetenzen” nach Franz Weinert [Weinert, 2001], die das Problemlösen und die Nutzung dieser Fähigkeit in variablen Situationen als wichtigstes Merkmal hervor streicht. Kompetenzen basieren somit nicht nur auf kognitiven Komponenten, sondern werden ergänzt durch emotionale, motivationale und soziale Komponenten sowie Verhaltensanteile, allgemeine Einstellungen und Elemente der Selbstwahrnehmung [de Haan, 2008]. Ähnlich dazu hat Jürgen Rost folgende Punkte als Kompetenzen einer Bildung für Nachhaltigkeit definiert: (1) Systemkompetenz (interdisziplinäres Wissen sowie Fähigkeit zur Wissensaneignung), (2) Bewertungskompetenz (Interkulturelle Akzeptanz und Toleranz) und (3) Gestaltungskompetenz (kooperative und partizipative Fähigkeiten) [Rost, 2005]. Das österreichische *FORUM Umweltbildung* wiederum hat ein eigenes Modell zur Umsetzung von BNE in der Bildungs- und Projektarbeit erarbeitet [FORUM Umweltbildung, 2020]. Dieses basiert auf folgenden zehn Aspekten bzw. Kompetenzen:

1. *”Konkret Handeln*: Lernen, dass nur die Umsetzung konkreter Ideen reale Veränderungen schafft. Lernen, selbst etwas zu tun.
2. *Emotionen miteinbeziehen*: Lernen, dass alle Emotionen wie z. B. Freude und Angst unser Handeln wesentlich mitbestimmen. Lernen, unseren Emotionen Beachtung zu schenken.
3. *Mit Wissen bewusst umgehen*: Lernen, dass Wissen über Zusammenhänge, Ziele und Möglichkeiten wesentlich für nachhaltige Veränderungen ist. Lernen, mit Wissen kritisch umzugehen.
4. *Visionen entwickeln*: Lernen, dass positive Zukunftsbilder ein motivierender Faktor für Engagement sind. Lernen, eigene positive Bilder der Zukunft zu entwickeln.
5. *Reflektieren*: Lernen, dass Reflexion die Qualität unserer Arbeit und unseres Engagements wesentlich erhöhen kann. Lernen, inne zu halten, die eigenen Handlungen zu überdenken und Schlüsse für Veränderungen zu ziehen.
6. *Kritisch denken*: Lernen, dass viele für uns alltägliche Herangehensweisen nicht nachhaltig sind. Lernen, mit Informationen kritisch umzugehen und Zusammenhänge zu erkennen.
7. *Kommunizieren*: Lernen, dass Kommunikation wesentlich zum Gelingen jeglichen gemeinsamen Handelns beiträgt. Lernen, respektvoll und wertschätzend zu kommunizieren.

8. *Kooperieren*: Lernen, dass Kooperation wirkungsvolles Handeln ermöglicht. Lernen, mit anderen zusammen zu arbeiten.
9. *Partizipieren*: Lernen, dass dauerhafte Lösungen nur mit Beteiligung der Betroffenen zustande kommen. Lernen, sich in Gestaltungsprozesse einzubringen.
10. *Methodenvielfalt*: Ein Methodenmix ist ratsam, da verschiedene Menschen auf verschiedene Sinneseindrücke (visuelle, akustische, lesend, schreibend, sich körperlich bewegend, etc.) unterschiedlich stark ansprechen und dadurch vielfältige Lernwege erschlossen werden können. ”³

Im Zuge der Entwicklung der 17 *Ziele für nachhaltige Entwicklung* (*Sustainable Development Goals* (SDG)) im Jahr 2015 durch die UN wurde auch ein Ziel für den Bildungssektor ausgerufen: “Ziel 4. *Inklusive, gleichberechtigte und hochwertige Bildung gewährleisten und Möglichkeiten lebenslangen Lernens für alle fördern*” [UN, 2015, S. 15]. Auch der Klimawandel fand einen Einzug in das Programm: “Ziel 13. *Umgehend Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen ergreifen*” [UN, 2015, S. 15]. Die politische Zielsetzung trat mit Anfang 2016 in Kraft und ist bis 2030 ausgelegt. Im deutschsprachigen Bereich sind diese Zielsetzungen als *Transformation unserer Welt: Die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung* (kurz: *Agenda 2030*) bekannt [UN, 2015].

3.2.2 Umsetzung an österreichischen Schulen

Auf der Seite des *Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung*⁴ (BMBWF) sind einige Projekte und Initiativen zum Thema BNE zu finden. So gibt es etwa eine *Klimameilenkampagne*⁵, die SchülerInnen dazu ermutigt ihren Schulweg umweltfreundlich zurückzulegen. Hierbei werden die Wege, die ohne Auto zurückgelegt werden, gezählt, die Daten europaweit gesammelt und später bei der jeweiligen UN-Klimakonferenz präsentiert. Diese Kampagne richtet sich vor allem an Kindergärten, Schulen und Freizeiteinrichtungen bis zur 5. Schulstufe und findet jährlich von März bis Oktober statt. 2019 haben 250 Bildungseinrichtungen mit fast 29.000 Kindern teilgenommen und mehr als 650.000 Meilen gesammelt [Klimabündnis Österreich, 2019].

Die *Foundation for Environmental Education* (FEE, Stiftung für Umwelterziehung), eine Stiftung mit Sitz in Kopenhagen, entwickelte 1992 das Programm *ECO-Schools*

³abrufbar unter <https://bildung2030.at/bildung-fuer-nachhaltige-entwicklung/bne-kompetenzen/>, letzter Zugriff: 17.08.2020.

⁴<https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulpraxis/pwi.html>, letzter Zugriff: 25.04.2020

⁵<https://www.klimabuendnis.at/klimameilen>, letzter Zugriff: 25.04.2020

(Öko-Schulen) [FEE, 2019]. Dieses Programm soll Schulgemeinschaften dazu ermutigen aktiv am Umweltschutz teilzunehmen. Österreich nimmt zwar an diesem FEE-Programm derzeit nicht teil, jedoch wurde 1995/96 ein eigenes Programm durch das Bildungsministerium genehmigt. Das Programm *Ökologisierung von Schulen – Bildung für Nachhaltigkeit* (ÖKOLOG) soll Schulen zu einer nachhaltigen ökologischen Alltagskultur animieren. Mit Stand April 2020 sind bereits mehr als 600 Institutionen im ÖKOLOG-Programm aktiv [IUS, 2020]. Eine Initiative dieses Programms sind die sogenannten *Klimaclubs*. Bei diesen Klimaclubs sollen sich SchülerInnen und LehrerInnen gemeinsam aktiv mit Klimagerechtigkeit beschäftigen. Bei regelmäßigen Treffen werden dann aktuelle Themen zum Klimawandel diskutiert, aber auch gemeinsam eine Umsetzung von klimarelevanten Schulschwerpunkten erarbeitet. Diese Klimaclubs werden auch von der Initiative *Teachers for Future* unterstützt.

Weiters vergeben die jeweils für Bildung und Umwelt zuständigen Bundesministerien seit 2001 das *Umweltzeichen für Schulen und Pädagogische Hochschulen* (UZ 301). Mit dieser Auszeichnung werden “Bildungseinrichtungen für ihr besonderes Engagement in den Bereichen umweltorientiertes Handeln, Förderung der Gesundheit, und Bildung für nachhaltige Entwicklung ausgezeichnet” [BMK, BMBWF, VKI, und FORUM Umweltbildung, 2018, S.4]. Mit Stand April 2020 tragen elf AHS (davon 3 in Wien) dieses Umweltzeichen [BMK, 2020].

Schulen, die entweder Teil des ÖKOLOG-Netzwerk sind oder das Umweltzeichen tragen, können auch Projekte im Bezug zu den UN-Nachhaltigkeitszielen für den von den BMBWF und *Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie* (BMK) unterstützten *Bildungsförderungsfonds für Nachhaltige Entwicklung* einreichen. Weitere Unterstützungsangebote für die Umweltbildung an Österreichs Schulen findet man auf der entsprechenden Internetseite des BMBWF⁶.

Der *Klima- und Energiefonds* hat 2013 das Programm *Klimaschulen* ins Leben gerufen, bei dem Projekte zwischen Schulen und Klima- und Energie-Modellregionen gefördert werden sollen. Bei diesem Projekt soll ein Schwerpunktthema aus dem Klima- und Energiebereich bearbeitet werden. Dabei soll u.A. der Energieverbrauch der Schule gemeinsam mit den SchülerInnen erhoben und die Schulgemeinschaft in die Aktivitäten der Klima- und Energie- Modellregionen integriert werden [Klima- und Energiefonds, 2017].

Auch wenn es nur am Rande mit BNE zu tun hat, möchte ich dennoch hier kurz auf das in diesem Jahr vom BMBWF veröffentlichte Schulentwicklungsprogramm 2020 (SCHEP 2020) hinweisen [BMBWF, 2020]. Neben einer verstärkten Digitalisierung

⁶https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulpraxis/prinz/umweltbildung/ub_unterstuetzung.html (letzter Zugriff: 24.04.2020)

sollen auch viele Schulstandorte saniert, renoviert oder auch von Grund auf neu gebaut werden. Dabei wird betont, dass dabei auf Nachhaltigkeit und Energieeffizienz und ökologische Qualität gesetzt werden soll. Das inkludiert etwa thermische Sanierungen, die Präferenz von erneuerbarer Energien (Geothermie, Solarthermie, etc.), Limitierung der CO₂-Emission, Erhöhung des Grünanteils oder auch einen Ausschluss gesundheits- und klimaschädlicher Baustoffe [BMBWF, 2020]. Diese Initiative ist äußerst wünschenswert, da den Schülerinnen und Schülern nur dann Umweltbildung authentisch vorgelebt werden kann, wenn sie auch im Schulgebäude umgesetzt wird. Dabei sollte jedoch bedacht werden, die gesamte Schulgemeinschaft in den Planungsprozess miteinzubeziehen. Solch eine Einbindung kann etwa im Zuge eines Beteiligungsverfahrens (Partizipationsverfahren) geschehen. Dabei wird vor der Planung und dem Umbau in gemeinsamen Workshops mit Beteiligung der ArchitektInnen, der GebäudeverwalterInnen, der LehrerInnen, der ElternvertreterInnen, der SchülerInnen sowie der SchulkwartInnen, der Büfettverantwortlichen und der SekretärInnen darüber diskutiert, was man sich von dem Schulumbau verspricht, welche Erneuerungen gewünscht werden und wie der Umbau den Schulstandort attraktiver machen soll. Solch eine Einbeziehung der Schulgemeinschaft ist insofern wichtig, als diese Personen am Besten die Bedürfnisse und notwendigen Änderungen erläutern können und sie vor allem nach dem Um- bzw. Neubau auch jene sind, die mit den neuen Umständen effektiv umgehen können müssen.

Klimawandel in fünf Stunden

Der Klimawandel ist ein Thema, das uns alle betrifft und mit dem wir uns alle in irgendeiner Form beschäftigen müssen. Es ist somit unumgänglich, dass dieses Thema auch in der Schule angesprochen wird. Während man im Biologieunterricht etwa auf die Auswirkungen auf Flora und Fauna eingehen, in Geografie und Wirtschaftskunde die sozioökonomischen Effekte besprechen, und z.B. in dem in Schulversuchen bereits eingeführten Ethikunterricht ethisch-moralische Fragen besprechen kann, eignet sich der Physik-Unterricht zur Untersuchung der Prozesse, die zu dem Klimawandel führen und zum Verständnis der nötigen Maßnahmen gegen eine weitere Zuspitzung der Klimakrise. In diesem Kapitel möchte ich ein Unterrichtskonzept zum Thema Klimawandel vorstellen, das auf fünf Unterrichtseinheiten in der siebten Klasse ausgelegt ist.

Die didaktische Analyse zu dem Thema findet sich im Abschnitt 4.1. Die Ziele und Kompetenzen der einzelnen Einheiten sind sowohl dieser Analyse als auch den Planungsrastern der einzelnen Stunden zu entnehmen. Ebenso kann man dort die Details zu den verwendeten Methoden nachlesen. Da mir zu dem Thema keine ausgearbeitete Lernumgebung bekannt war, habe ich mich anhand von den in Abschnitt 3.1.2 vorgestellten Schulbüchern (Big Bang 7, Sexl 7, Physik compact Basiswissen 7) und online verfügbaren Unterlagen (z.B. vom UBZ Steiermark, FORUM Umweltbildung, etc.) für eine eigene Umsetzung entschieden.

Wichtig hierbei zu betonen ist, dass das Konzept, so wie es in diesem Kapitel vorgestellt wird, der ursprünglichen Version entspricht, die während des FAPs konzipiert und angewendet wurde. Ein gemäß den in Kapitel 5 vorgestellten Methoden überarbeitetes Konzept ist in Abschnitt 7.2 zu finden.

Die großen Schwerpunkte des Konzepts sind Klimageschichte(n), Treibhauseffekt, Auswirkungen und Maßnahmen gegen den Klimawandel und der Umgang mit Klimawandelskeptikern mittels auf Fakten basierenden Argumenten. Dabei sollte der Unterricht sowohl mit Experimenten als auch mit der Anwendung verschiedenster Methoden und dem Einsatz neuer Medien abwechslungsreicher gestalten werden, wobei das 5E-Modell [Bybee und Landes, 1990] dabei als Rahmenstruktur zum Einsatz kommt.

4.1 Didaktische Analyse

Am Thema Klimawandel gibt es seit Monaten kein Vorbeikommen mehr – es beherrscht die Politik, die Medien und mittlerweile sogar den Konsum (z.B. “Plastiksackerl-Verbot”). So ist davon auszugehen, dass sich auch schon die Schülerinnen und Schüler mehr oder weniger eingehend mit dem Thema beschäftigt bzw. zu mindestens bereits davon gehört haben. Gemäß dem Modell der *Didaktischen Rekonstruktion* [Kattmann et al., 1997] muss man beim Entwickeln von Unterricht über ein bestimmtes Thema nicht nur eine fachliche Klärung durchführen, sondern auch die Lernendenperspektiven erfassen. Die fachliche Klärung erfolgte in Kapitel 2, wobei die für den Unterricht ausgewählten *key ideas* vorwiegend die Klimageschichte der Erde, die Zusammensetzung der Erdatmosphäre, den Treibhauseffekt, sowie die nationalen und internationalen Auswirkungen des Klimawandels umfassen.

Für die Erfassung der Lernendenperspektiven wurden zunächst die aus der Literatur bekannten Lernendenvorstellungen betrachtet. Diese beinhalten u.A. die Auffassung, dass der Klimawandel nur eine Erfindung der Medien bzw. der momentane Klimawandel ein natürliches Phänomen sei oder, dass die Auswirkungen des Klimawandels im Großen und Ganzen positiv wären. Außerdem fragte ich die Schülerinnen und Schüler in der ersten Einheit nach ihren Assoziationen zu dem Begriff “Klimawandel” um so weitere Lernendenvorstellungen zu eruieren. Beides wurde in die Planung der folgenden Einheiten integriert. In einer Studie mit Schweizer 15- bis 16-jährigen Schülerinnen und Schülern wurden zusätzlich noch die Ansichten, dass etwa der heutige Arbeitsmarkt nicht mit einschneidenden klimaschützenden Maßnahmen verträglich bzw. dass die Bemühungen einer einzelnen Person nicht von Nutzen seien oder dass wir unseren Lebensstil nicht ändern, sondern einfach nur neue Technologien erfinden müssten, präsentiert [Zeyer und Roth, 2009]. Die verschiedenen Lernendenvorstellungen sind den Stundenplanungen in den folgenden Abschnitten zu entnehmen und eine genauere Beschreibung jener Vorstellungen, die sich auch nach den fünf Unterrichtseinheiten gehalten haben, findet sich in Abschnitt 7.1.

Im Folgenden soll auf die didaktische Strukturierung des Unterrichtskonzepts eingegangen werden. Als Basis für die Strukturierung wurde das 5E-Modell [Bybee und Landes, 1990] herangezogen. Weiters wurde großer Wert darauf gelegt, dass der Umgang mit neuen Medien nicht zu kurz kommt (Einsatz von YouTube, Online-Tests, Word Cloud, etc.) und dass eine Vielzahl an Kompetenzen (gemäß dem Kompetenzmodell Naturwissenschaften für die Oberstufe, BIFIE [2011]) abgedeckt werden. Dieses Kompetenzmodell beruht auf den drei Handlungskompetenzen (1) *Wissen organisieren* (W-Kompetenzen), (2) *Erkenntnisse gewinnen* (E-Kompetenzen) und (3) *Schlüsse ziehen* (S-Kompetenzen), welche wiederum jeweils in vier Subkompetenzen unterteilt werden (siehe Abb. 4.1).

Wissen organisieren: Aneignen, Darstellen und Kommunizieren

Ich kann einzeln oder im Team ...

- W 1 Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen
- W 2 aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen
- W 3 Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik in verschiedenen Formen (Grafik, Tabelle, Bild, Diagramm ...) darstellen, erklären und adressatengerecht kommunizieren
- W 4 die Auswirkungen von Vorgängen in Natur, Umwelt und Technik auf die Umwelt und Lebenswelt erfassen und beschreiben

Erkenntnisse gewinnen: Fragen, Untersuchen, Interpretieren

Ich kann einzeln oder im Team ...

- E 1 zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben
- E 2 zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen
- E 3 zu Fragestellungen eine passende Untersuchung oder ein Experiment planen, durchführen und protokollieren
- E 4 Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren (ordnen, vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren

Schlüsse ziehen: Bewerten, Entscheiden, Handeln

Ich kann einzeln oder im Team ...

- S 1 Daten, Fakten und Ergebnisse aus verschiedenen Quellen aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten und Schlüsse daraus ziehen
- S 2 Bedeutung, Chancen und Risiken der Anwendungen von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen für mich persönlich und für die Gesellschaft erkennen, um verantwortungsbewusst zu handeln
- S 3 die Bedeutung von Naturwissenschaft und Technik für verschiedene Berufsfelder erfassen, um diese Kenntnis bei der Wahl meines weiteren Bildungsweges zu verwenden
- S 4 fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren und naturwissenschaftliche von nicht-naturwissenschaftlichen Argumentationen und Fragestellungen unterscheiden

Abb. 4.1. Handlungskompetenzen des *Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe* [BIFIE, 2011].

In dem in den folgenden Seiten vorgestellten Unterrichtskonzept sollen die Schülerinnen und Schüler Klimaveränderungen auf verschiedenen Planeten beschreiben und benennen (W-Kompetenzen), die physikalischen Hintergründe zum Treibhauseffekt richtig deuten und das Phänomen dahinter anhand eines Experiments erklären (W- und E-Kompetenzen), die Auswirkungen des Klimawandels diskutieren (W- und S-Kompetenzen), Schlüsse ziehen, welche Maßnahmen sie selbst aber auch die Gemeinschaft setzen müssen, um den Klimawandel einzudämmen (S-Kompetenzen) und schließlich auch falsche Informationen und Verschwörungstheorien identifiziert und revidiert können (W- und S-Kompetenzen). Eine detaillierte tabellarische Form der didaktischen Analyse inklusive aller angesprochenen Kompetenzen ist im Appendix K (S. 204) bzw. der folgenden Stundenplanungen (Tabellen 4.1 bis 4.5) zu finden.

Für mich persönlich war es wichtig, den Schülerinnen und Schülern in diesen fünf Einheiten das nötige Hintergrundwissen zu vermitteln, damit sie kritisch mit diesem Thema umgehen, sich selbst eine Meinung bilden und mit anderen Menschen in ihrem Umfeld datenbasiert diskutieren können – ganz gemäß dem Prinzip der BNE. So

ist z.B. den meisten bewusst, dass uns der Klimawandel in Zukunft große Probleme bereiten wird, aber momentan sind wir noch nicht übermäßig beunruhigt, weil die Auswirkungen uns vielleicht persönlich noch nicht direkt betroffen haben (dies ist auch in der im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Umfrage unter den Schülerinnen und Schülern zu erkennen, siehe S. 82). Zu dieser Thematik sind Studien, die z.B. in Australien durchgeführt wurden, äußerst interessant. Dieses riesige Land wird ja bekanntlich von Klimawandelskeptikern regiert, leidet allerdings in den letzten Jahren unter den wohl verheerendsten Waldbränden der jüngeren Geschichte. Eine jährliche Umfrage vom “The Australia Institute” im Zuge des *Climate of the Nation Reports* zeigt, dass nun immer mehr Australier an das Phänomen Klimawandel zu glauben beginnen (siehe Abb. 4.2) [Merzian et al., 2019]. Im Vergleich dazu, schätzen die Bürger der EU laut eines Eurobarometer-Berichts zum Klimawandel vom September 2017 diesen zu rund drei Vierteln (74%) als sehr ernstes und zu über neun Zehnteln (92%) als zumindest ernstes Problem ein [Europäische Kommission, 2018]. Der Mensch neigt dazu erst dann zu reagieren, wenn etwas auch ihn selber betrifft – nur könnte das im Falle des Klimawandels dann zu spät sein.

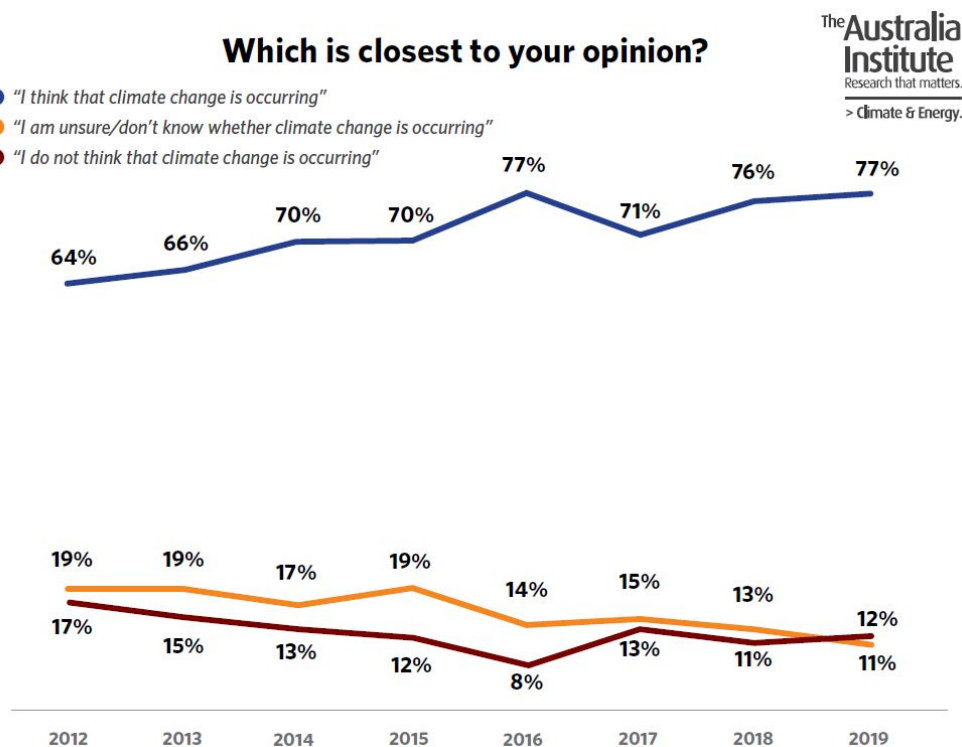


Abb. 4.2. Umfrage des “The Australia Institute” über die Einschätzung der Bevölkerung, wie real ihrer Meinung nach der Klimawandel wirklich ist (Zeitraum 2012-2019) [Merzian et al., 2019, S. 7].

4.2 Erste Einheit: Klimageschichte (Erde, Venus, Mars)

4.2.1 Planung der Einheit

Tab. 4.1. Stundenplanung der ersten Einheit

Key Idea/s, die angesprochen wird/werden:			
<ul style="list-style-type: none"> - Das Klima der Erde hat sich bereits in der Vergangenheit oft geändert. Der anthropogene Klimawandel verläuft jedoch um ein Vielfaches schneller als der natürliche (Ausnahme: Naturkatastrophen wie Meteoriteneinschlag, Vulkanausbruch, etc.). - Auch auf anderen Planeten gibt es einen Klimawandel. - Das Klima kann langfristig, das Wetter jedoch nur sehr kurzfristig prognostiziert werden. 			
Lernendenvorstellungen:			
<ul style="list-style-type: none"> - Das Klima der Erde war konstant über die gesamte Erdgeschichte. - Die "Luft" besteht vorwiegend aus Sauerstoff. 			
Feinziel/e (Kompetenzen): Ich kann...			
<ul style="list-style-type: none"> - Ursachen für Klimaveränderungen auf verschiedenen Planeten beschreiben und benennen (W1). - Fachspezifische Informationen zu Klimaveränderungen auf verschiedenen Planeten aus unterschiedlichen Quellen entnehmen (W2). - Auswirkungen von Naturereignissen auf das Klima beschreiben (W4). - Fachspezifische Informationen zu Klimaveränderungen auf verschiedenen Planeten bewerten und Schlüsse ziehen (S1). 			
Zeit	5 E's	LehrerInnenaktivität	SchülerInnenaktivität
15 min	Engage	<p>Photo von Greta Thunberg zeigen und fragen, wer das ist.</p> <p>Frage: Was assoziiert ihr mit dem Begriff "Klimawandel"? (QR-Code bzw Link zu Google-Forms poll¹)</p> <p>Schülerantworten in Applet kopieren, das Wort-Wolken bildet²</p>	<p>SuS³ sollen antworten.</p> <p>SuS sollen Assoziation mit dem Begriff "Klimawandel" online in Google Forms eintragen. Können auch etwas hineinschreiben, das sie immer schon interessiert hat zu dem Thema</p>
5 min	Explore1	<p>Thema: <i>Zusammensetzung der Erdatmosphäre</i></p> <p>Mit SuS gemeinsam auf Fragen F1 und F2 eingehen.</p> <p>Dann: Word Cloud zeigen und gemeinsam mit SuS besprechen. Wenn möglich, werden wir auf die einzelnen Begriffe in den nächsten Stunden eingehen können.</p>	<p>SuS sollen Buch S.103 (Big Bang 7, SBNr 140177) lesen (Inhalt: Luft-Zusammensetzung der Erde) und Fragen F1 (Luftzusammensetzung: Bestandteile) und F2 (% und ppm) beantworten.</p>

¹<https://forms.gle/UdN9sPLWXYSi1dQK6>, letzter Zugriff: 16.05.2019

²<https://www.wordclouds.com/>, letzter Zugriff: 04.01.2020

³SuS: Schülerinnen und Schüler

20 min	Explore2	<p><i>Bevor wir uns aber mit dem heutigen Klima bzw. dem Klimawandel beschäftigen, sollten wir uns zunächst die Klimageschichte der Erde näher ansehen. Wir wollen sogar einen Schritt weiter gehen und auch die Klimageschichte unserer beiden Nachbarplaneten betrachten.</i></p> <p>Planetentexte austeilern (siehe Appendix C2, S. 135)</p> <p>Fragen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Welche Klimaereignisse haben die 3 Planeten gemeinsam? - Welches Ereignis würdet ihr als das "schwerwiegendste" einstufen? - Formuliert einen aktuellen, durchschnittlichen Wetterbericht auf den verschiedenen Planeten! 	<p>Gruppenpuzzle: Einteilung in 3 Gruppen mit Planetenkarten (inkl. Nummer auf der Rückseite): Venus, Erde und Mars.</p> <p>Jede Gruppe bekommt einen Text zu lesen.</p> <p>Es sollen sich 3er Gruppen finden (anhand von Nummer auf Rückseite der Planetenkarten) und die 3 Fragen gemeinsam beantworten. SuS dürfen auch im Internet recherchieren, falls sie mehr Informationen benötigen.</p>
10 min	Explain	<p>Wichtigste Punkte nochmals zusammenfassen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Venus: sehr dichte Atmosphäre, sehr hohe T wegen starkem Treibhauseffekt - Erde: viele natürliche Klimaänderungen - Mars: hatte lebensfreundliches Klima, Magentfeldzusammenbruch, heute: sehr dünne Atmosphäre 	<p>Antworten im Plenum vergleichen und gegebenenfalls SuS untereinander diskutieren lassen</p>

4.2.2 Durchführung der Einheit

Als Einstieg in das Thema habe ich ein Bild von Greta Thunberg gewählt, da sie durch ihr Alter und ihre Medienpräsenz eine gute Bezugsperson für Schülerinnen und Schüler darstellt. Um noch mehr über das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler in Bezug auf das Thema Klimawandel zu erfahren und auch um mögliche Lernendenvorstellungen zu identifizieren, ließ ich die Schülerinnen und Schüler Worte sammeln, die sie mit dem Begriff "Klimawandel" assoziieren. Da mir der Einsatz von neuen Technologien wichtig erscheint, habe ich zur Erstellung dieser Mindmap nicht wie üblich die Tafel oder ein Flipchart verwendet, sondern die Schülerinnen und Schüler ihre Begriffe online in eine Liste eintragen lassen. Dafür habe ich im Vorfeld ein Google Forms Formular⁴ zusammengestellt, dessen Link ich den Schülerinnen und Schülern über einen QR-Code zur Verfügung stellte. Diese Begriffe habe ich dann in ein Onlineprogramm übertragen, mit dessen Hilfe man Word Clouds erstellen kann. Um mir etwas Zeit zu verschaffen die Word Cloud zu

⁴https://www.google.com/intl/de_at/forms/about/, letzter Zugriff: 26.04.2020

Gemeinsam mit den SchülerInnen habe ich im Anschluss die Word Cloud (siehe Abb. 4.3) kurz analysiert und angekündigt, dass wir alle darauf abgebildeten Worte bzw. Phrasen in den kommenden Stunden besprechen werden. In den folgenden Einheiten habe ich jede Stunde über die Word Cloud als Elicit-Phase eingeleitet und sie dann nochmal am Ende verwendet, um auf das kommende Thema hinzuweisen.



Die erste Einheit hat als großen Themenschwerpunkt die Klimageschichte der Erde und ihrer beiden Nachbarplaneten Venus und Mars. Diesen Einstieg habe ich aus zwei Gründen gewählt: erstens üben astronomische Themen stets eine ungemeine Faszination auf Schülerinnen und Schüler aus und zweitens herrschen auf Venus und Mars so konträre Klimata, dass sich ein Vergleich zur Erde lohnt. Dabei lag der Fokus darauf, dass es auch Klima(-wandel) auf anderen Planeten gibt und dass es im Laufe der Erdgeschichte schon zu vielen Klimaumbrüchen kam. Dafür habe ich 2-3-seitige Texte pro Planet (Venus, Erde, Mars) für die Schülerinnen und Schüler

zusammengestellt (Appendix C2, S. 135), wobei sie in 3er-Gruppen jeweils einen Planeten bearbeiten sollten (Einteilung der 3er-Gruppen mittels Planeten-Kärtchen, Appendix C3, S. 142). Danach wurden neue 3er-Gruppen gebildet, in denen jeweils ein Experte zu einem Planeten zu finden war (Methode: Expertenrunde). In diesen neuen Gruppen sollten sie daraufhin drei Fragen beantworten:

- Welche Klimaereignisse haben die drei Planeten gemeinsam?
- Welches Ereignis würdet ihr als das “schwerwiegendste” einstufen?
- Formuliert einen aktuellen, durchschnittlichen Wetterbericht auf den verschiedenen Planeten!

Im Anschluss haben wir dann gemeinsam die ersten beiden Fragen diskutiert. Da das Lesen der Texte so viel Zeit in Anspruch nahm, konnten wir auf die dritte Frage im Plenum nicht eingehen. Daher sollten die Schülerinnen und Schüler diese Frage bis zur nächsten Einheit als Hausübung ausarbeiten.

4.3 Zweite Einheit: Der Treibhauseffekt und der anthropogene Einfluss

4.3.1 Planung der Einheit

Tab. 4.2. Stundenplanung der zweiten Einheit

Key Idea/s, die angesprochen wird/werden:

- Wichtige Einflussfaktoren auf das Klima sind die Sonneneinstrahlung und die Zusammensetzung der Erdatmosphäre.
 - Der (natürliche) Treibhauseffekt beschreibt die Absorption und darauffolgende neuerliche Emission (in alle Richtungen) von elektromagnetischer Strahlung (IR-Strahlung) durch Treibhausgase in der Atmosphäre. Dieser Vorgang führt dazu, dass ein Teil der IR-Strahlung im System Erde verbleibt und so zu einer Erwärmung des Systems führt.
 - Der anthropogene (bzw. zusätzliche) Klimawandel beruht vorwiegend auf dem steigenden Prozentsatz an (zusätzlichen) Treibhausgasen in der Erdatmosphäre (anthropogener Treibhauseffekt) durch Eingriffe in die Natur durch den Menschen (Abholzung, Flächenversiegelung, Landwirtschaft, Verkehr, Industrie, etc.).
 - Die bekanntesten Treibhausgase sind Wasserdampf, CO₂, CH₄, N₂O und FCKW.
-

Lernendenvorstellungen:

- Der Klimawandel ist nur eine Erfindung der Medien bzw. der Politik.
- Luftverschmutzung führt zum Klimawandel.
- Das Ozonloch verursacht den Klimawandel.
- Der momentane Klimawandel ist ein wiederkehrendes Phänomen bzw. Teil eines natürlichen Zyklus.

- Die "Luft" besteht vorwiegend aus Sauerstoff.

Feinziel/e (Kompetenzen): Ich kann...

- die Vorgänge, denen der Treibhauseffekt zugrunde liegt, beschreiben und benennen (W1).
- beschreiben, welchen Einfluss die Menschen & ihr Handeln auf den Treibhauseffekt und das Erdklima haben (W1 & W4).
- Daten, Fakten und Ergebnisse aus verschiedenen Quellen zum Thema "Einfluss des Menschen auf das Weltklima" bewerten und daraus Schlüsse ziehen (S1).
- Tabellen und Graphen zu dem Thema bewerten und daraus Schlüsse ziehen (S1).

Zeit	5 E's	LehrerInnenaktivität	SchülerInnenaktivität
10 min	Elicit	<i>Einleitung: Rückblick auf Klimawandel auf anderen Planeten (L-S-Gespräch)</i> Hinweis: Unterschied Wetter und Klima	SuS sollen Wetterberichte vorstellen.
10 min	Engage/ Explore	<i>Einleitung: Blick auf Word Cloud und was heute am Plan steht.</i> Versuch Treibhauseffekt Aufbau: Große Glasschüssel, 2 Thermometer, Papierdach "1, 2, oder 3"-Spiel: Frage: Beide Thermometer werden jetzt einige Zeit in der Sonne liegen- was passiert? (Vorbereiten: 3 Antwortmöglichkeiten auf Zettel drucken, siehe Appendix D2, S. 147) Experiment "starten"	SuS sollen sich für einen möglichen Ausgang des Experiments entscheiden. Am Beginn: 2 SchülerInnen Temperatur messen lassen. Temp notieren.
15 min	Explain	<i>Einleitung: Auf Venus herrscht ein extremer Treibhauseffekt- aber was ist das eigentlich genau?</i> Video ⁵ + Arbeitsblatt (siehe Appendix D3, S. 148) 3 Teile (jeweils nach einem Teil Antworten besprechen): - Treibhausgase (2:09 min) - Treibhauseffekt (2:22 min) → Fragen, was der Treibhauseffekt mit dem Experiment mit dem Glasgefäß zu tun haben könnte. - Stärke Treibhausgase (0:50 min)	SuS sollen zunächst Fragen auf Arbeitsblatt lesen und versuchen diese zu beantworten. Dann wird Video (in 3 Teile geteilt) gezeigt.

⁵<https://www.youtube.com/watch?v=q1wP42f5GAc>, letzter Zugriff: 25.05.2020

12 min	Elaborate	<p><i>Überleitung: Es kommt also durch die Zunahme von Treibhausgasen zu einer Erwärmung der Erdatmosphäre- können wir das auch in den den erdgeschichtlichen Daten sehen?</i></p> <p>Interpretieren von Grafiken:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Temperaturkarte Erdgeschichte - CO₂ + Temperatur der letzten 130 Jahre - Vergleich Temperatur Nord-/Süd-Halbkugel der letzten 140 Jahre 	SuS sollen Grafiken betrachten und Erkenntnisse in ganze Sätzen notieren.
3 min	Evaluate	Ergebnis des Engage-Experiments besprechen	

4.3.2 Durchführung der Einheit

Zur Wiederholung der ersten Einheit trugen einige Schülerinnen und Schüler jeweils ihren Wetterbericht für einen der drei Planeten (Venus, Erde oder Mars) vor. Dabei gingen wir gemeinsam noch einmal auf die unterschiedlichen Bedeutungen der Begriffe Wetter und Klima ein.

Der Einstieg in die zweite Einheit erfolgte danach, wie angekündigt, durch einen Blick auf die Word Cloud (siehe Abb. 4.3), wo das Wort “Treibhauseffekt” markiert war und somit das primäre Thema dieser Einheit darstellte. Um die Wirkungsweise des Treibhauseffekts auch nachhaltig in den Köpfen der Schülerinnen und Schüler zu verankern, habe ich einen Engage-Versuch gewählt, der am Anfang der Stunde gestartet und am Ende dann ausgewertet wurde. Hierbei sollte der Temperaturanstieg bei zwei Thermometern beobachtet werden, die zwar nebeneinander in der Sonne liegen (unter einem Papierdach, um direkte Sonneneinstrahlung zu verhindern), wobei sich jedoch eines zusätzlich unter einer Glaskuppel befand. Diese Glaskuppel sollte die Atmosphäre und die darin befindlichen Treibhausgase repräsentieren. Um zu ermitteln, welchen Versuchsausgang die Schülerinnen und Schüler vermuten, habe ich nach dem Start des Experiments mit den Schülerinnen und Schülern noch ein “1, 2 oder 3”-Spiel (analog zu der bekannten ZDF/ORF Kinder-Rateshow) am Gang durchgeführt (am Gang, weil dort mehr Platz war), wo sie eigentlich alle auf das richtige Resultat getippt haben (für verwendete Folien, siehe Appendix D2, S. 147). Allerdings war hier erkennbar, dass zunächst 4-5 der eher dominanteren Schülerinnen und Schüler sich für eine Lösung entschieden haben und viele der übrigen Schülerinnen und Schüler daraufhin einfach deren Vorbild gefolgt sind.

Für die Explain-Phase habe ich drei Videoausschnitte vorbereitet, die den Treibhauseffekt und die Treibhausgase sehr anschaulich und in einer jugendadäquaten Sprache

erklären (Video von *Chemie - simpleclub*, auf Youtube unter “Treibhauseffekt einfach erklärt” abrufbar). Dazu bekamen die Schülerinnen und Schüler ein Arbeitsblatt ausgeteilt (siehe Appendix D3, S. 148), wobei nach jedem Videoausschnitt ein Teil des Arbeitsblattes in Einzelarbeit bearbeitet werden sollte. Die Antworten wurden dann jedes Mal nach etwa zwei Minuten im Plenum besprochen. Aus Zeitmangel haben wir im Anschluss, anders als geplant, nur mehr zwei Grafiken zum Thema Klimawandel besprochen (Temperaturveränderung im Verlauf der Erdgeschichte und CO₂- vs. Temperaturanstieg in den letzten Jahrzehnten). Die letzten fünf Minuten nutzen wir schließlich noch für die Analyse des bis dahin immer noch laufenden Engage-Versuchs.

4.4 Dritte Einheit: Auswirkungen des Klimawandels

4.4.1 Planung der Einheit

Tab. 4.3. Stundenplanung der dritten Einheit

<p>Key Idea/s, die angesprochen wird/werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Änderungen des Klimas können weitreichende Folgen für das Ökosystem haben. - Der Klimawandel zeigt sich nicht nur durch globale Erwärmung, sondern auch durch häufiger auftretende und extreme Naturkatastrophen. - Das Klima der Erde hat sich bereits in der Vergangenheit oft geändert. Der anthropogene Klimawandel verläuft jedoch um ein Vielfaches schneller als der natürliche (Ausnahme: Naturkatastrophen wie Meteoriteneinschlag, Vulkanausbruch, etc.).
<p>Lernendenvorstellungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Der Klimawandel ist nur eine Erfindung der Medien bzw. der Politik. - Der momentane Klimawandel ist ein wiederkehrendes Phänomen bzw. Teil eines natürlichen Zyklus. - Der Mensch kann sich schnell an alle klimatischen Veränderungen anpassen. - Die Auswirkungen des Klimawandels sind überwiegend positiv.
<p>Feinziel/e (Kompetenzen): Ich kann...</p> <ul style="list-style-type: none"> - beschreiben, welche lokalen (Österreich) und globalen Einflüsse der Klimawandel auf die Menschheit und die Natur hat (W1). - dazu aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen (W2). - die Auswirkungen des Schmelzens der Polkappen auf den Meeresspiegel erfassen und beschreiben (W4). - aus Daten Schlüsse über die Auswirkungen des Klimawandels ziehen (S1). - ich kann anhand eines Experiments analysieren, wie sich das Schmelzen der Polkappen auf den Meeresspiegel auswirken würde (E4).

Zeit	5 E's	LehrerInnenaktivität	SchülerInnenaktivität
5 min	Elicit	<p>WH Treibhauseffekt (+Experiment)</p> <p>Zeige Photo von Versuchsaufbau von voriger Einheit</p> <p>Falls nötig, Merksatz diktieren: <i>Der Treibhauseffekt (bzw. Glashauseffekt) kann mittels einer Glasschüssel modelliert werden. Die Glasschüssel repräsentiert hierbei die Atmosphäre inklusive der darin vorkommenden Treibhausgase. Entgegen dem Model kommen die Treibhausgase in der Atmosphäre gleichmäßig verteilt vor und befinden sich nicht konzentriert in einer speziellen Schicht. Stellt man die Glasschüssel in die Sonne, so kann eine deutliche Temperaturerhöhung festgestellt werden im Vergleich zur Umgebungstemperatur der Schüssel.</i></p> <p>Übergang: Blick auf Word Cloud und was heute am Plan steht.</p>	SuS sollen im L-S-Gespräch den Versuch der letzten Einheit rekapitulieren
10 min	Engage	<p>Versuch "Anstieg des Meeresspiegels"</p> <p>Aufbau: 2 große Glasschüsseln, Steine, Eisbär und Pinguin, kleine Häuser, farbiges Klebeband, Wasser, Eisblöcke (mit Tinte gefärbt)</p> <p>Frage: Die erste Schüssel repräsentiert den Nord-, die zweite den Südpol. Wenn das Eis auf den Polen schmilzt, was passiert mit dem Eisbären, was mit dem Pinguin und bei beiden Szenarien mit den Häusern? Experiment "starten" (läuft die ganze Stunde, anfänglichen Wasserstand mit buntem Klebeband markieren)</p>	<p>SuS sollen sich um Versuchsaufbau herum aufstellen und im L-S-Gespräch wird auf Unterschied zw. Arktis und Antarktis eingegangen.</p> <p>SuS sollen in 4-5er-Gruppen zusammengehen (1-5 Durchzählen!) und sich auf ein Ergebnis pro Pol einigen. Resultat wird auf Zettel geschrieben, in ein Kuvert gegeben und neben die jeweilige Schüssel gelegt.</p>
25 min	Explore	<p>Überleitung: Nun werden wir in einem Stationenbetrieb weitere Folgen der Klimaerwärmung ermitteln.</p> <p>Stationenbetrieb- pro Station 5 min (ablaufende Zeit wird mittels Beamer projiziert)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Arbeitsblatt "Temperatur & Niederschlag" 2. Auswirkungen des Klimawandels und du 3. Insellösung 4. Klimawandel und Tourismus in Österreich 	SuS sollen in 4-5er Gruppen die Stationen bearbeiten.

10 min	Evaluate	Ausgang des Experiments "Anstieg des Meeresspiegels" diskutieren und öffnen der Kuverts um Voraussagen zu bewerten	SuS sollen sich wieder um Versuchsaufbau herum aufstellen, 1 SchülerIn wird ausgewählt, die/der beschreibt, wie sich Wasserstand verändert hat.
		Hausaufgabe: Vorstellung CO ₂ Rechner ⁶	SuS sollen bis nächstes Mal den CO ₂ -Rechner Fragebogen bearbeiten und ihre Werte (Wohnen, Konsum, Mobilität) in Online-Liste ⁷ eintragen.
		SuS Quiz in letzter Einheit ankündigen!	

4.4.2 Durchführung der Einheit

Die dritte Einheit begann mit einer mündlichen Wiederholung des Treibhauseffekt-experiments der vorigen Stunde. Da die Schülerinnen und Schüler nicht alle aktiv an der Wiederholung teilnahmen und die Antworten auch nicht ausreichend gut ausformuliert waren, diktierte ich den Schülerinnen und Schülern drei Sätze, die sie als Rekapitulation der letzten Einheit in ihr Heft aufschreiben sollten.

Wie auch schon in der vorangegangenen Einheit begann ich den neuen Themenblock mit einem Blick auf die Word Cloud der ersten Einheit (siehe Abb. 4.3). Für den Einstieg in das neue Themengebiet selbst (Auswirkungen des Klimawandels) habe ich anhand der Unterlagen des UBZ Steiermark⁸ ein Experiment vorbereitet, das zeigen sollte, wie unterschiedlich sich das Abschmelzen der beiden Polkappen auf den Meeresspiegel auswirken würde. Für den Versuch habe ich zwei Schüsseln mit Wasser gefüllt und zwei mit Tinte eingefärbte Eisblöcke hineingelegt. Jener Eisblock, der der Eismasse der Antarktis entsprechen sollte, wurde dabei auf einem großen Stein platziert, sodass er sich nicht vollständig im Wasser befunden hat (siehe Abb. 4.4). Zusätzlich wurde auf der Arktis ein Eisbär und auf der Antarktis ein Pinguin platziert. Seitlich befand sich in jeder Schüssel noch ein weiterer großer Stein, auf dem ich jeweils ein kleines Häuschen hingestellt habe. Die beiden Versuchsanordnungen wurden auf dem Lehrertisch (siehe Abb. 5.1) aufgebaut. Für das L-S-Gespräch, in dem wir grob die dargestellten Unterschiede der beiden Polkappen besprachen, lies ich die Schülerinnen und Schüler sich um den Lehrertisch aufstellen. Danach teilte ich die Schülerinnen und Schüler in 4er-Gruppen ein, in denen sie gemeinsam in Sätzen den Versuchsausgang für die beiden Pole voraussagen sollten (Was passiert jeweils mit den Tieren, was mit den Häusern und wie ändert sich der Wasserspiegel?). Die Zettel mit den Antworten steckten die Schülerinnen und Schüler dann jeweils in ein Kuvert, das sie mit Süd- oder Nordpol beschriften und neben die jeweilige

⁶<https://www.co2-rechner.at/#/start>, letzter Zugriff: 04.01.2020

⁷Mit Google Forms erstellt, Link: <https://forms.gle/S4yQjjvi6bpP9xjK7>, letzter Zugriff: 10.05.2019

⁸<https://www.ubz-stmk.at/materialien-service/stundenbilder/>, letzter Zugriff: 20.04.2019, kostenlose Anmeldung erforderlich

Schüssel legen sollten. Ob ihre Prognosen eintreffen, hätte dann eigentlich am Ende der Stunde aufgelöst werden sollen, jedoch musste dies aus zeitlichen Gründen in die nächste Stunde verschoben werden (dort im Zuge der Elicit-Phase verwendet).



Abb. 4.4. Versuch zum Abschmelzen der Polkappen und dem resultierenden Anstieg des Meeresspiegels.

In der Explore-Phase dieser Einheit sollten die Schülerinnen und Schüler im Zuge eines Stationenbetriebs die verschiedenen Auswirkungen des Klimawandels bearbeiten. Die Arbeitsanweisungen bzw. Arbeitsblätter dazu findet man im Appendix E2 (S. 150). Für den Stationenbetrieb hatten die Gruppen immer genau fünf Minuten Zeit, wobei ich einen 5-Minuten-Timer mit dem Beamer an die Wand projiziert habe. Themen der verschiedenen Stationen waren 1. Änderung der Temperatur und des Niederschlags in Österreich, 2. selbst erlebte Auswirkungen des Klimawandels, 3. Klimaflüchtlinge aufgrund des Anstiegs des Meeresspiegels und 4. Auswirkungen des Klimawandels auf den Tourismus in Österreich.

Zum Abschluss der Einheit gab ich noch die Hausaufgabe auf, bis zur nächsten Einheit den CO₂-Rechner des FORUM Umweltbildung zu verwenden und die Ergebnisse dieses Selbsttests mir über ein online Formular mitzuteilen.

4.5 Vierte Einheit: Maßnahmen gegen den Klimawandel

4.5.1 Planung der Einheit

Tab. 4.4. Stundenplanung der vierten Einheit

Key Idea/s, die angesprochen wird/werden:			
<ul style="list-style-type: none"> - Der Klimawandel zeigt sich nicht nur durch globale Erwärmung, sondern auch durch häufiger auftretende und extremere Naturkatastrophen. - Der anthropogene (bzw. zusätzliche) Klimawandel beruht vorwiegend auf dem steigenden Prozentsatz an (zusätzlichen) Treibhausgasen in der Erdatmosphäre (anthropogener Treibhauseffekt) durch Eingriffe in die Natur durch den Menschen (Abholzung, Flächenversiegelung, Landwirtschaft, Verkehr, Industrie, etc.). - Die bekanntesten Treibhausgase sind Wasserdampf, CO₂, CH₄, N₂O, und FCKW. 			
Lernendenvorstellungen:			
<ul style="list-style-type: none"> - Der Klimawandel ist nur eine Erfindung der Medien bzw. der Politik. - Der momentane Klimawandel ist ein wiederkehrendes Phänomen bzw. Teil eines natürlichen Zyklus. - Der Mensch kann sich schnell an alle klimatischen Veränderungen anpassen. - Der Klimawandel ist nicht mehr aufzuhalten. - Eine einzelne Person kann nichts bewirken. - Die Auswirkungen des Klimawandels sind überwiegend positiv. 			
Feinziel/e (Kompetenzen): Ich kann...			
<ul style="list-style-type: none"> - aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen, die zeigen, welche Maßnahmen gegen den Klimawandel gesetzt werden können und was ich selber dazu beisteuern kann (W2). - beschreiben, welche Maßnahmen gegen den Klimawandel gesetzt werden können (W4). - neue Informationen zu dem Thema in einem Referat kurz und prägnant darstellen und kommunizieren (W3). 			
Zeit	5 E's	LehrerInnenaktivität	SchülerInnenaktivität
5 min	Elicit	<p>WH Auswirkungen des Klimawandels (+Experiment):</p> <p>“Vorhersagen” (im Kuvert abgegeben in voriger Stunde) der SuS auf Folie präsentieren Übergang: Blick auf Word Cloud und was heute am Plan steht.</p>	<p>SuS sollen gemeinsam entscheiden, ob die “Vorhersagen” korrekt waren (in Flüstergruppen, dann Plenum).</p>
10 min	Engage	<p>CO₂-Rechner (HÜ) Ergebnisse als Boxplots vorbereiten und präsentieren</p> <p>Überleitung: Welche Maßnahmen können nun wirklich gesetzt werden?</p>	<p>SuS sollen Erfahrung mit CO₂-Rechner beschreiben:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ist so eine Onlineumfrage sinnvoll bzw. glaubwürdig? - Was macht deiner Meinung den größten Teil deines CO₂-Fußabdrucks aus? - Wie könntest du deinen CO₂-Ausstoß verkleinern?

20 min	Elaborate	Profil-Artikel bereitstellen Wortlisten bereitstellen (Worte, die unbedingt im Referat vorkommen/erklärt werden müssen) Themen: 1. Konsum 2. Verkehr 3. Ernährung 4. Internet & Smartphones 5. Abfall 6. Kyoto-Protokoll & Pariser Übereinkommen	SuS sollen in 2-3er Gruppen jeweils ein Thema bearbeiten. Material: Profil-Artikel (Ausschnitte) und Wortliste + Internetrecherche 3 Leitfragen: - Was bewirkt die erhöhte CO ₂ -Emission? - Welche Maßnahmen werden von Politik & Industrie gesetzt? - Wie kann ich selbst zum Klimaschutz beitragen? Ziel: 1min-Referat am Schluss halten können (jedeR muss vortragen)
10 min	Evaluate		SuS sollen in Blitz-Referaten (genau 1 min) ihr Thema vorstellen
5 min	Extend	Hausaufgabe: Fake news suchen und analysieren! (Bsp. angeben) SuS noch einmal an Quiz erinnern!	SuS sollen bis zur nächsten Einheit Fake News (Twitter, Homepages, YouTube videos, etc.) suchen (zu zweit eine) und auf A4 Blatt schreiben (inkl. Quellenangabe)

4.5.2 Durchführung der Einheit

Für die Wiederholungsphase bei der vierten Einheit habe ich die Schülerinnen und Schüler-Voraussagen bzgl. des Poleiskappen-Experiments der vorigen Einheit auf eine PowerPoint-Folie geschrieben (siehe Abb. 4.5). Die Schülerinnen und Schüler sollten dann im Think-Pair-Share-Modus dazu Stellung nehmen und beurteilen, ob ihre Voraussagen richtig waren.

Die Engage-Phase hat bereits bei den Schülerinnen und Schülern daheim begonnen, da diese als Hausaufgabe einen CO₂-Rechner verwenden sollten um damit ihren CO₂-Ausstoß zu ermitteln. Mit ihren mir vor der Stunde übermittelten Ergebnissen konnte ich einen Boxplot erstellen, der ihre Ergebnisse anschaulich darstellen sollte (siehe Abb. 4.6). Der Boxplot zeigt die Ergebnisse der drei Kategorien *Wohnen*, *Konsum* und *Mobilität*. Über diesen Boxplot und die möglichen Ursachen für die unterschiedliche Verteilung im Vergleich zu dem von der Homepage angegeben Durchschnittswert wurde in einem L-S-Gespräch diskutiert. Zusätzlich zu den Werten der Schülerinnen und Schüler habe ich auch noch meine Ergebnisse in den Boxplot eingetragen. Da bei der Kategorie *Wohnen* mein Wert deutlich von jenem der Schülerinnen und Schülern abwich (siehe mit Pfeil markierter Punkt in Abb. 4.6), diskutierten wir gemeinsam, woran das liegen könnte.

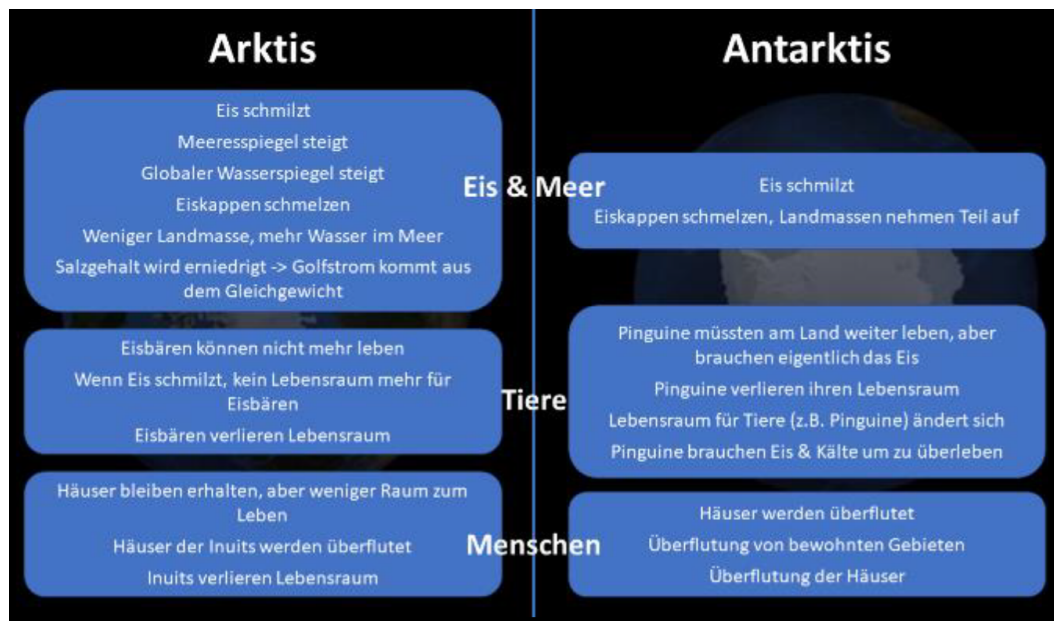


Abb. 4.5. Antworten der Schülerinnen und Schüler auf die Fragen, welche Auswirkung die Klimaerwärmung auf die Arktis bzw. Antarktis hat bzw. haben wird in Bezug auf das Eis/Wasser-Vorkommen, die dort lebenden Tiere und die Menschen (global gesehen).

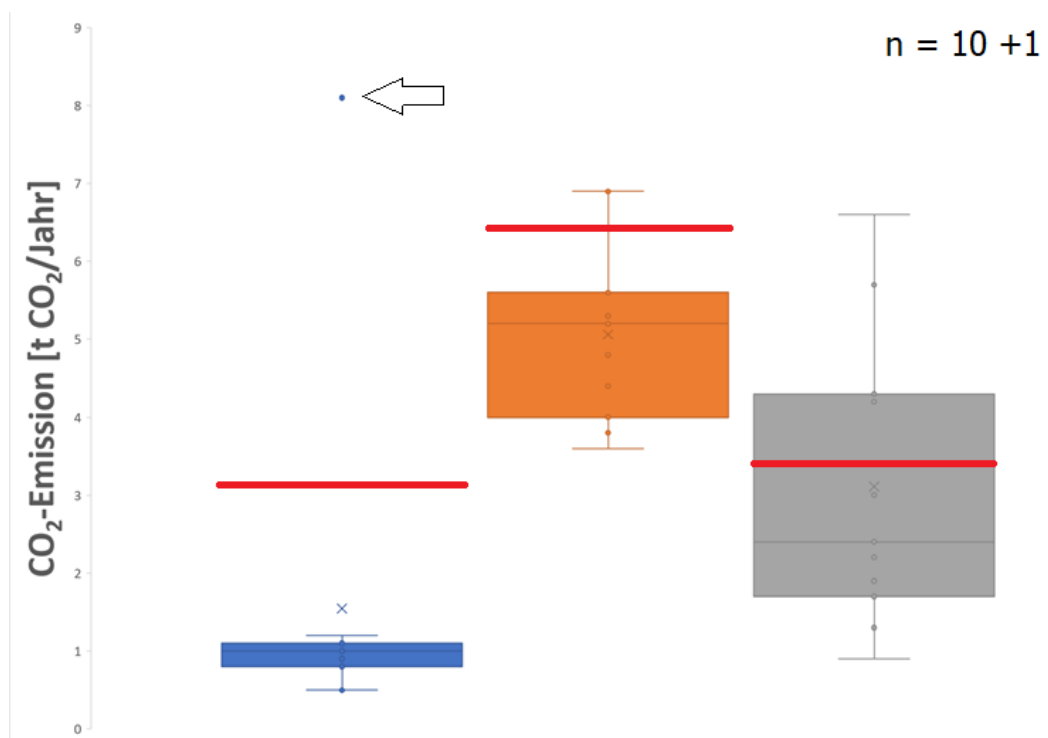


Abb. 4.6. Ergebnisse des CO₂-Rechners in den drei Kategorien Wohnen (blauer Boxplot), Konsum (orange) und Mobilität (grau) von zehn Schülerinnen und Schülern und der Autorin. Die roten Striche geben den vom FORUM Umweltbildung angegebenen mittleren Wert an. Mit dem Pfeil ist ein Ausreißer im Bereich Wohnen markiert (Datenpunkt der Autorin).

Für die darauffolgende Elaborate-Phase bekamen sie in 2-3er Gruppen jeweils einen Teil eines *Profil*-Artikels zu lesen (Ausgabe Nr. 19, 5. Mai 2019, S. 66-75; siehe Appendix F3, S. 157), der sich mit möglichen Maßnahmen gegen den Klimawandel beschäftigt, die jeder Einzelne setzen könnte. Sie sollten diese kurzen Texte lesen und dann pro Gruppe ein gemeinsames Blitzreferat (1 min) vorbereiten, in dem sie sowohl auf drei Leitfragen eingehen aber auch 4-6 vorgegebene Begriffe einer Wortliste verwenden sollten (für die Wortliste, siehe Appendix F2, S. 156). Im Anschluss an diese ca. 15-minütige Vorbereitungsphase haben die verschiedenen Gruppen dann ihre Blitzreferate vorgetragen. Wenige Sekunden vor dem Läuten ist die letzte Gruppe mit ihrer Präsentation fertig geworden. Ich musste daher die Schülerinnen und Schüler bitten mir in der Pause noch eine Minute zuzuhören, damit ich ihnen die Hausaufgabe für die nächste Stunde erklären konnte (Beispiele für Klimawandel-Fake-News suchen und mitbringen).

4.6 Fünfte Einheit: Fake-News Check

4.6.1 Planung der Einheit

Tab. 4.5. Stundenplanung der fünften Einheit

Key Idea/s, die angesprochen wird/werden:

- Der Klimawandel zeigt sich nicht nur durch globale Erwärmung, sondern auch durch häufiger auftretende und extreme Naturkatastrophen.
- Der anthropogene (bzw. zusätzliche) Klimawandel beruht vorwiegend auf dem steigenden Prozentsatz an (zusätzlichen) Treibhausgasen in der Erdatmosphäre (anthropogener Treibhauseffekt) durch Eingriffe in die Natur durch den Menschen (Abholzung, Flächenversiegelung, Landwirtschaft, Verkehr, Industrie, etc.).
- Die bekanntesten Treibhausgase sind Wasserdampf, CO₂, CH₄, N₂O, und FCKW.

Lernendenvorstellungen:

- Der Klimawandel ist nur eine Erfindung der Medien bzw. der Politik.
- Der momentane Klimawandel ist ein wiederkehrendes Phänomen bzw. Teil eines natürlichen Zyklus
- Der Mensch kann sich schnell an alle klimatischen Veränderungen anpassen.
- Der Klimawandel ist nicht mehr aufzuhalten.
- Eine einzelne Person kann nichts bewirken.
- Die Auswirkungen des Klimawandels sind überwiegend positiv.

Feinziel/e (Kompetenzen): Ich kann...

- Berichte in den (sozialen) Medien bewerten und Schlüsse daraus ziehen (S1).
-

Zeit	5 E's	LehrerInnenaktivität	SchülerInnenaktivität
15 min	Evaluate	Socrative Test ⁹ (Klimawandel + Feedback) (SOC-40353261) Währenddessen: Fake-News checken (Duplikate?)	SuS sollen Quiz bearbeiten
15 min	Elaborate/ Evaluate	Backup: mind. 5 zusätzliche Fake-News vorbereiten	SuS stellen Fake-News vor (in 2er-Gruppen, jeweils 1-2 min). Anschließend jedes Mal kurze Diskussion im Plenum.
15 min	Extend	SuS in 2 Gruppen einteilen Regeln erklären (immer nur eineR spricht pro Gruppe und pro Runde, ausreden lassen, nächsteR SprecherIn wird von VorgängerIn ausgesucht, etc.)	Ping-Pong-Diskussion: 2 Gruppen (Klimawandelbekämpfer gegen Klimawandelskeptiker) zunächst: gemeinsam in den Gruppen Argumente sammeln (ca. 5 min)
5 min	Backup	Falls Zeit: - Video: Facebookpost der Erde ¹⁰ (< 4 min) - Fake Trump Twitter ¹¹	

4.6.2 Durchführung der Einheit

In den ersten 15 Minuten der letzten Einheit fand das Quiz (Online-Test als schriftliche Wiederholung des Themenblocks *Klimawandel*) zum Thema Klimawandel (plus 5 Feedback-Fragen für mich; für die Quizfragen, siehe Tabelle 6.1 (Seite 76) bzw. Appendix G2, S. 166) statt. Das Quiz wurde mit der online Software *Socrative*¹² erstellt. Im Schnitt haben die Schülerinnen und Schüler dabei 6 von 10 möglichen Punkten erreicht. Dasselbe Quiz mussten die Schülerinnen und Schüler dann etwa sechs Monate später nochmals ausfüllen (siehe Abschnitt 6.3.2).

Nach dem Quiz sollten die Schülerinnen und Schüler ihre Fake-News vorstellen. Die Schülerinnen und Schüler, die Fake-News dabei hatten, haben sie dann ihren Mitschülern vorgelesen bzw. übersetzt (waren alle in Englisch verfasst) und mussten im Anschluss noch erklären, warum es sich um Fake-News handelt. Zusätzlich habe ich noch vier weitere Beiträge vorbereitet gehabt, die wir dann im Anschluss besprochen haben.

Die letzten 15 Minuten dieser Einheit wollte ich dann noch für eine offene Diskussion mit den Schülerinnen und Schülern nützen. Ich habe sie dafür in zwei Gruppen eingeteilt (*Klimawandelskeptiker* und *Klimawandelbekämpfer*) und ihnen zunächst

⁹Falls Socrative an der Schule nicht zur Verfügung steht, kann alternativ auch z.B. die freie Anwendung *Google Forms* verwendet werden.

¹⁰<https://www.youtube.com/watch?v=YNSNulqBqhE>, letzter Zugriff: 18.02.2020

¹¹<https://faketrumptweet.com/>, letzter Zugriff: 18.02.2020

¹²www.socrative.com, letzter Zugriff: 16.05.2019

fünf Minuten Zeit gegeben um gemeinsam in den jeweiligen Gruppen Argumente zu sammeln. Nach dieser Sammelphase sollten sie im Ping-Pong-Prinzip miteinander diskutieren. Die Diskussion verlief dabei ein wenig holprig, woraufhin ein Schüler aufzeigte und meinte, ich sollte die Diskussion doch besser leiten. Daraufhin habe ich ihm die Diskussionsleitung übergeben und mich als reine Beobachterin etwas zurückgezogen. Der Schüler hatte seine liebe Not seine Mitschüler unter Kontrolle zu bringen und schließlich unterstütze ich den Schüler doch ein wenig und wir konnten gemeinsam die Diskussion zu Ende führen.

Forschungsdesign

Die im Folgenden vorgestellte Studie basiert auf der im vorigen Kapitel präsentierten Unterrichtsplanung für die fünf eigenständig gehaltenen Stunden im Zuge des Fachbezogenen Praktikums (FAP) im Unterrichtsfach Physik im Sommersemester 2019 an einer siebten Klasse eines Wiener Realgymnasiums. Die Idee, dieses Konzept, die Erfahrungen damit und mögliche Verbesserungsvorschläge dafür als eine Diplomarbeit auszuarbeiten, kam erst nach der Absolvierung des Praktikums auf. Die äußerst positive Resonanz von Seiten der Schülerinnen und Schüler sowie der Betreuerinnen, als auch meine Neugier, wie nachhaltig sich der Unterricht wirklich gestaltet hat, waren dafür ausschlaggebend. Dadurch ergab sich jedoch der Spezialfall, dass diese Studie als Fallstudie, in der ich meinen eigenen Unterricht analysiere, rückwirkend konzipiert wurde. Dennoch wurde versucht, so gut es diese Rahmenbedingungen erlaubten, Elemente aus dem *Design-Based Research* und der *Aktionsforschung* anzuwenden.

5.1 Problemstellung und Forschungsfragen

Das für die Konzeption der Planung der fünf Unterrichtsstunden im Zuge des FAPs ausschlaggebende Problem war das Fehlen eines geeigneten Unterrichtskonzepts zum Thema Klimawandel für die siebte Klasse. Die im Folgenden vorgestellte Studie soll dabei vor allem auf die Idee, das Unterrichtskonzept so gut wie möglich an die Bedürfnisse und Interessen der Schülerinnen und Schüler anzupassen, eingehen. Zur Ermittlung der Interessen und Bedürfnisse der Schülerinnen und Schüler diene die in der ersten Einheit durchgeführte Befragung, was die Schülerinnen und Schüler mit dem Thema „Klimawandel“ assoziieren. Die aus den Worten erstellte Word Cloud stellte dann ein in jeder Einheit wiederkehrendes Element vor, das den Schülerinnen und Schülern das Gefühl übermitteln sollte, dass sie aktiv beim Inhalt der Unterrichtseinheiten mitbestimmen. Es soll so eine gewisse emotionale Komponente eingeführt werden – die Schülerinnen und Schüler fühlen sich mehr eingebunden und sehen sich als mitbestimmender Teil. Meine Forschungsfragen für diese Fallstudie lauten daher:

1. Inwiefern unterstützt die Lernumgebung die Entwicklung von Wissen zu dem Thema Klimawandel?
2. Inwiefern lässt sich ein Zusammenhang zwischen der adressierten emotionalen Komponente (=offene Miteinbeziehung der Schülerinnen und Schüler in die Stundenplanung) und der längerfristigen Wissensaufnahme herstellen?
3. Welche Aspekte waren passend und welche müssen verändert werden?

5.2 Methoden: Elemente aus Design-Based Research und Aktionsforschung

Für die Datenauswertung und -analyse wurden Elemente aus Design-Based Research und Aktionsforschung herangezogen. Beide Methoden sollen im Folgenden kurz präsentiert werden.

Design-Based Research

Design-Based Research (DBR) stellt eine Verknüpfung zwischen anwendungs- und erkenntnisorientierter Forschung dar [Klees und Tillmann, 2015] und wird auch als nutzenorientierte Grundlagenforschung [Wilhelm und Hopf, 2014] bezeichnet. Ein Vorläufer davon wurde erstmals Anfang der 1990er von Allan Collins und Ann Brown präsentiert [Collins, 1990, Brown, 1992, The Design-Based Research Collective, 2003]. 1999 wurde das *Design-Based Research Collective* u.a. von Christopher Hoadley mit Mitteln der Spencer Foundation gegründet, womit der Begriff *Design-Based Research* schließlich geprägt wurde.

Der DBR-Ansatz soll es ermöglichen die Umsetzung von Innovationen im Unterricht leichter zu machen. Dabei unumgänglich ist, dass die Lehrkräfte das Potenzial und die Vorteile der präsentierten neuen Konzepte gegenüber der bestehenden Praxis erkennen können [Klees und Tillmann, 2015]. Beim DBR sollen Lernumgebungen entwickelt (Interventionen) und sogleich in der Praxis getestet werden, um sie daraufhin wieder zu verbessern und weiterzuentwickeln. Dieses iterative, zyklische Vorgehen stellt einen wesentlichen Punkt dieses Ansatzes dar [Wilhelm und Hopf, 2014, Klees und Tillmann, 2015]. Die Entwicklung einer Intervention ist also Bestandteil des Forschungsprozesses.

Der in der vorliegenden Diplomarbeit präsentierte, stark verkürzte DBR-Ansatz hatte als Ausgangsproblem das Fehlen einer geeigneten ausgearbeiteten Lernumgebung zum Thema Klimawandel in der siebten Klasse. Bei der neuen Lernumgebung sollte sowohl auf Inhalte als auch auf Kompetenzen geachtet werden. Es konnte ein Zyklus eines DBR-Projekts in seinen Ansätzen durchgeführt werden (Erstellung eines Unterrichtskonzepts, Umsetzung in der Praxis (ohne Videoaufnahmen aller Stunden), Evaluation, Re-Design des Konzepts). Die Erläuterung des Unterrichtskonzepts und die Beschreibung der Umsetzung in der Praxis wurden im Kapitel 4 präsentiert. Eine erste Evaluation auf der Basis eines Gruppeninterviews und einer Online-Umfrage kann Kapitel 6 entnommen werden. Im Kapitel 7 wird dann das Unterrichtskonzept basierend auf den gesammelten Information überarbeitet präsentiert.

Der nächste Schritt in einem vollständigen DBR-Ansatz, der allerdings über den Umfang dieser hier vorliegenden Arbeit hinaus geht, wäre dann wieder der Test des Konzepts in der Praxis inklusive geeigneter Erhebungsinstrumente und Beiträge zu Grundlagenfragen [Wilhelm und Hopf, 2014]. Wichtig wäre auch, das Konzept in mehreren Klassen an verschiedenen Schulen zu testen und auch Referenzklassen in die Erhebung miteinzubeziehen. Im Vorhinein wäre ein Test zu dem Thema vor den fünf gehaltenen Stunden sinnvoll gewesen. Zu dem Zeitpunkt war aber noch nicht klar, dass sich dieser Teil meines FAPs zu einer Diplomarbeit entwickeln wird.

Aktionsforschung

Im Allgemeinen kann man die *Aktionsforschung* als den Versuch von Lehrpersonen definieren, ihren gehaltenen Unterricht (oder andere berufliche Situationen) systematisch zu untersuchen um diesen dann im Anschluss zu verbessern [Altrichter et al., 2018]. Diese Methode soll somit Lehrpersonen selbstständig dazu befähigen auf Probleme in der Praxis erfolgreich durch Innovationen zu reagieren und diese im Nachhinein auch zu evaluieren. Dabei bilden Aktion, Beobachtung, Reflexion, praktische Theorie und eine neue Aktionsidee einen Kreislauf, wobei es zu einer ständigen Weiterentwicklung und Verfeinerung der Theorie kommt [Altrichter et al., 2018]. Ziel der *Aktionsforschung* ist sowohl Erkenntnis im Sinne des Reflexionsergebnisses als auch Entwicklung als Ergebnis der Aktion.

Diese Methode richtet sich vor allem an bereits erfahrene Lehrpersonen, die ein gewisses Unterrichtskonzept bereits durchgeführt haben und dieses verbessern wollen. Hier wird dann aus den gesammelten Erfahrungen der Ausgangspunkt für die Forschung und Entwicklung festgelegt. Diese Erfahrung fehlte mir bei meinem Herangehen natürlich. Darüber hinaus war vor dem FAP noch nicht klar, dass ich mich in meiner Diplomarbeit mit der Entwicklung dieses Unterrichtskonzepts beschäftigen werde, womit die intentionale Planung der Forschung vor dem Abhalten der Stunden ebenso wegfällt. Ähnlich wie bei dem DBR-Ansatz können die Punkte

“Datensammlung” (siehe Kapitel 6), “Interpretation” und in gewissem Maße auch “Konsequenzen” (siehe Kapitel 7) im Zuge dieser Diplomarbeit behandelt werden. Durch das Verfassen dieser Arbeit wird auch der Punkt “Formulierung und Verbreitung der Erfahrungen” bedient [Altrichter et al., 2018]. Ganz gemäß der Idee der *Aktionsforschung* habe ich mich als Lehrperson innerhalb des Systems befunden, dass ich verbessern möchte (Analyse meines eigenen Konzepts). Durch das Feedback der Mentorin (*critical friend*) direkt nach den Einheiten und jenem der Schülerinnen und Schüler am Ende des Praktikums bzw. 6 Monate danach (Fragebogen und Interview) konnte ich die Perspektiven anderer Beteiligter sammeln. Diese konnte ich dann mit den Erkenntnissen meiner eigenen Reflexion kombinieren und für mögliche Verbesserungsideen nützen.

5.3 Informationen zur Schule und Klasse

Das im Folgenden vorgestellte Unterrichtskonzept wurde im Sommersemester 2019 an einem Wiener Realgymnasium in einer siebten Klasse angewendet. An dieser Schule werden etwa 500 Schülerinnen und Schüler in über 20 Klassen von etwa 60 LehrerInnen unterrichtet. Die Schule hat einen sehr hohen Anteil an Schülerinnen und Schülern, die nicht Deutsch als Muttersprache haben. Die Vielfalt und der Umgang damit spielt eine wichtige Rolle an dieser Schule. Das Miteinander wird dabei groß geschrieben. Die siebte Klasse, die ich im Zuge des FAPs unterrichten und wo ich das hier vorgestellte Unterrichtskonzept anwenden durfte, bestand zu diesem Zeitpunkt aus 6 Schülerinnen und 10 Schülern.

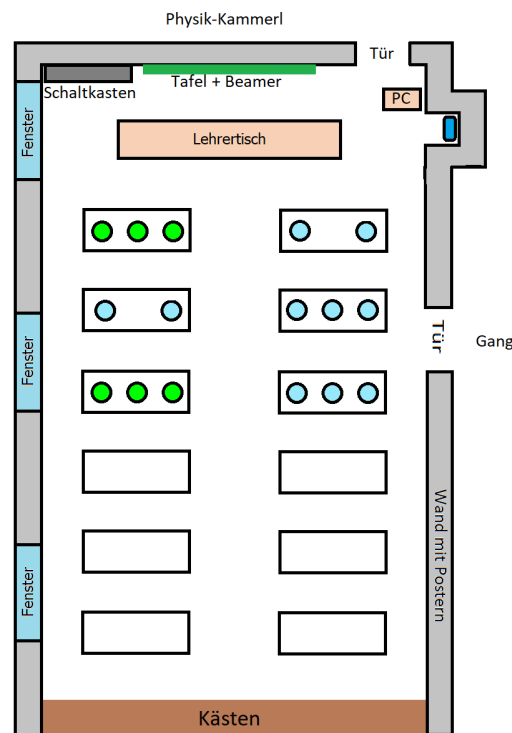


Abb. 5.1. Schematische Darstellung des Physiksaals der Schule. In grün sind die Sitzplätze der Schülerinnen markiert, in blau jeweils die der Schüler.

Die Klasse hatte in dieser Schulstufe zwei Physikstunden pro Woche. Die im Folgenden reflektierten Unterrichtseinheiten fanden in fünf aufeinanderfolgenden Stunden innerhalb von 15 Tagen im Physiksaal der Schule statt (siehe Abb. 5.1).

5.4 Datenerhebung

Als Daten für diese Arbeit dienen die Reflexionen zu den gehaltenen Unterrichtseinheiten (siehe Abschnitt 6.1), die Antworten auf den Online-Test (10 Fragen, siehe Abschnitt 6.3), der einmal direkt nach den Einheiten und einmal etwa sechs Monate später durchgeführt wurde, und ein Interview mit einer Gruppe von vier Schülerinnen und Schülern (siehe Abschnitt 6.2), das ebenfalls etwa sechs Monate nach den gehaltenen Unterrichtseinheiten stattfand. Die Reflexionen beruhen auf meiner eigenen Einschätzung und den Hinweisen der Mentorin und wurden direkt nach Beendigung des Praktikums verfasst.

Die reguläre Physik-Lehrperson der Klasse bat mich darum in der letzten Einheit einen kurzen Test (Quiz, Online-Test) anzusetzen. Dies macht die Lehrperson regelmäßig nach Abschluss eines Themengebiets. Die Fragen und die möglichen Antwortmöglichkeiten des Quiz können Tabelle 6.1 (bzw. Appendix G2, S. 166) entnommen werden. Die genauen Antworten der Schülerinnen und Schüler können in Appendix I1 (S. 183) nachgelesen werden. Ich habe dann etwa sechs Monate später genau dieselben Fragen den Schülerinnen und Schülern wieder gestellt. Für den ersten Test nützte ich damals die online Software *Socrative*, bei der zweiten Befragung verwendete ich *Google Forms*. Zusätzlich gab es am Ende des ersten Tests noch Fragen als allgemeines Feedback an mich zu den Unterrichtseinheiten (auf freiwilliger Basis). Am Ende des zweiten Tests stellte ich dann sechs persönliche Fragen (siehe Abschnitt 6.3.3), mit der die Haltung der Schülerinnen und Schüler zum Klimawandel abgeschätzt werden sollte.

Das Interview wurde am 8. November 2019 von 11:06 – 11:40 durchgeführt. Interviewpartner waren zwei Schülerinnen (M1, M2) und zwei Schüler (J1, J2) der (mittlerweile) achten Klasse. Die beiden Schüler meldeten sich freiwillig, wohingegen die beiden Schülerinnen die einzigen weiblichen Lernenden waren, die an diesem Tag anwesend waren. Beide Schülerinnen stimmten aber ohne Wiederworte zu an dem Interview teilzunehmen. Die Schülerinnen und Schüler wurden vor Beginn des Interviews darauf hingewiesen, dass ihre Antworten anonymisiert in der Diplomarbeit aufscheinen würden. Weiters bekamen sie erklärt, dass ihre Antworten, egal ob richtig oder falsch, während des Interviews unkommentiert gelassen werden. Vom gesamten Interview wurde sowohl eine reine Tonaufnahme als auch eine Videoaufnahme gemacht. Das gesamte Interview wurde dann transkribiert (siehe Appendix H, S. 169).

Ergebnisse und Auswertung

Im folgenden Kapitel werden die gehaltenen Stunden sowie das Gruppeninterview und die Online-Fragebogen reflektiert und analysiert. Dabei liegt der Fokus speziell auf jenen Themen, die sich als relevant für die Forschungsfragen herausstellten. Konkrete Verbesserungsvorschläge bzw. das überarbeitete Unterrichtskonzept sind im Abschnitt 7.2 zu finden.

6.1 Reflexionen der fünf gehaltenen Einheiten

Die folgende Reflexion wurde zum Großteil direkt nach den gehaltenen Stunden verfasst und spiegelt sowohl meine eigene Einschätzung als auch jene der Mentorin wider.

6.1.1 Reflexion der ersten Einheit

Obwohl ich die Klasse nur durch zwei kurze Team-Teaching-Sequenzen davor kennen gelernt hatte, ergab sich zum Thema “Greta Thunberg” sofort eine rege Diskussion in der Engage-Phase. Die Schülerinnen und Schüler wussten alle, wer Greta Thunberg ist und wofür sie kämpft. Viele Schülerinnen und Schüler haben sich zu Wort gemeldet und wollten mir etwas über Greta Thunberg und die Gründe ihrer Demonstrationen erzählen. Diesen Eifer konnte ich dann in die Aufgabe mit der Word Cloud umlenken. Die Word Cloud war von diesem Zeitpunkt an unser ständiger Begleiter durch die restlichen Unterrichtsstunden. Die emotionale Bedeutung dieser Grafik für die Schülerinnen und Schüler wurde im Interview (für das Transkript, siehe Appendix H, S. 169, bzw. für die Analyse des Interviews, siehe Abschnitt 6.2) deutlich. Ich würde diese Word Cloud daher als zentrales Element für die Auswertung der 2. Forschungsfrage (siehe S. 62) sehen.

Der thematische Schwerpunkt dieser Einheit lag auf der Analyse der Texte zu den Klimageschichten der verschiedenen Planeten. Die Schülerinnen und Schüler haben die Texte zwar aufmerksam gelesen, ich habe dabei allerdings unterschätzt, dass die Texte zu lang waren. Auch die Mentorin hat in der Nachbesprechung angemerkt, dass es eher eine Leseübung war als eine Expertenrunde. Die Fragen wurden dann im Folgenden von den Schülerinnen und Schülern im Lehrer-Schüler-Gespräch oft nur

mit Schlagworten beantwortet. In einer neuerlichen Umsetzung des Konzepts sollte darauf geachtet werden, dass die Schülerinnen und Schüler dazu animiert werden in ganzen Sätzen zu antworten. Dadurch müssen sie sich eine Spur intensiver mit der Thematik beschäftigen, was dazu beitragen könnte, dass sie das neu erworbene Wissen länger behalten. Anhand der Antworten auf Frage 1 des Quiz (siehe Tabellen 6.1 (S. 76) bzw. 6.2 (S. 78)) kann man erkennen, dass die Schülerinnen und Schüler sich zwar viele Details zu den verschiedenen Planeten gemerkt, jedoch diese teilweise verwechselt haben.

Trotz der nötigen Verbesserung der Textlänge (für die überarbeitete Version, siehe Appendix J1, S. 197), war die Resonanz bezüglich des Themas sehr gut. Im Feedback am Schluss der fünf Einheiten (siehe Appendix I2, 192) wurde sogar mehrfach gewünscht, dass wir mehr über die Planeten gesprochen hätten. Aus diesem Grund habe ich die Klasse in der letzten Schulwoche zu mir an die Universität eingeladen, wo wir zwei Stunden über astronomische Themen gesprochen haben und ich ihnen auch einen Einblick in meine Forschung (Astrobiologie) geben konnte.

6.1.2 Reflexion der zweiten Einheit

Das große Thema dieser Einheit war der Treibhauseffekt. Dieser wurde einerseits durch das Engage-Experiment (Glaskuppel), andererseits durch das Arbeitsblatt zum YouTube-Video bearbeitet. Beim Glaskuppel-Experiment habe ich die Bewegung der Sonne unterschätzt, womit sich die Kuppel gegen Ende der Einheit im Schatten befand. Dennoch konnte der erhoffte Effekt beobachtet werden. Für jede Frage des Arbeitsblatts habe ich gezielt immer eine andere Schülerin bzw. einen anderen Schüler zum Beantworten ausgewählt. Die Antworten waren meistens korrekt bzw. war nur wenig zu verbessern. Die Verbesserung überließ ich dabei den MitschülerInnen.

In der Nachbesprechung zu dieser Einheit hat mich die Mentorin darauf hingewiesen, dass ich, schon im Hinblick auf eine mögliche Maturavorbereitung, Fragen auf einem Arbeitsblatt kompetenzorientiert formulieren und W-Fragen vermeiden sollte (für die überarbeitete Version, siehe Appendix J2, S. 200). Weiters hätten wir, um die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Versuch zu festigen, eine kurze Versuchsbeschreibung ins Heft schreiben sollen. Das habe ich dann in der Elicit-Phase der nächsten Einheit nachgeholt. Die Mentorin fand es eine gute Idee, dass ich am Arbeitsblatt den Schülerinnen und Schülern bei der Aufgabe, in der sie in ganzen Sätzen den Treibhauseffekt beschreiben sollten, sieben Worte vorgegeben habe, die sie unbedingt verwenden mussten. Viele dieser Worte wurden dann auch bei der Frage zum Treibhauseffekt bei den Online-Tests verwendet (siehe Appendix I1, S. 183).

6.1.3 Reflexion der dritten Einheit

In dieser Stunde standen die Auswirkungen des Klimawandels im Fokus. Als didaktische Methode wurde hierfür der Stationenbetrieb gewählt. Ganz klar verbesserungswürdig war dabei der ungleiche zeitliche Aufwand der Stationen. Während man bei einer Station nur miteinander diskutieren musste, war bei der anderen eine ausführliche Datenanalyse notwendig. Es sollte daher bei der Zusammenstellung der Stationen besser darauf geachtet werden, dass die Aufgabenstellungen ausgewogener sind und dass es zusätzlich kleine Ausweichstationen (z.B. eine Spielestation) geben sollte, falls mal eine Gruppe schneller fertig wird. Der gelungene Versuch mit den Polkappen hat den Schülerinnen und Schülern vor Augen geführt, welche Auswirkungen das Schmelzen der Pole haben könnte. Die Mentorin hatte noch die Idee, dass man den Versuch mit den Polkappen und der "Treibhauseffekt-Schüssel" von der vorigen Einheit verbinden könnte um die Auswirkungen noch eindrucksvoller zu zeigen.

6.1.4 Reflexion der vierten Einheit

Die fünf Minuten, die ich für die Wiederholung der vorigen Einheit eingeplant hatte, waren leider viel zu knapp bemessen. Hier müsste den Schülerinnen und Schülern mehr Zeit gegeben werden um über die letzte Stunde zu reflektieren. Etwas ernüchternd war, dass mir nur zehn von 16 Schülerinnen und Schülern rechtzeitig ihre Ergebnisse des CO₂-Rechners geschickt haben, mit denen ich dann den Boxplot erstellen konnte. Die Diskussion zum Boxplot war sehr lebendig und so gut wie alle Schülerinnen und Schüler gaben hier Wortmeldungen ab.

Bei der Präsentation der Blitzreferate war zu erkennen, dass die Schülerinnen und Schüler so etwas vermutlich erst selten oder sogar noch nie gemacht haben. Das Zeitmanagement war verbesserungswürdig und auch bei der Aufgabe, die Informationen kurz und prägnant zu präsentieren, stießen einige Schülerinnen und Schüler an ihre Grenzen. Es lässt sich vermuten, dass das mit ein wenig Übung das Blitzreferate-Konzept in dieser Klasse schnell zum Erfolg führen würde. Das zeigt sich auch darin, dass die beiden Gruppen, die erst am Schluss präsentierten, bereits aus den Fehlern der vorangegangenen Gruppen gelernt hatten und ihre Präsentationen spontan umgestalteten um den Anforderungen zu genügen. Worauf geachtet werden sollte, wäre, dass jede Schülerin und jeder Schüler einer Gruppe einen Teil der Präsentation hält. Eine gute Idee der Mentorin war, dass ich aufgrund des Zeitmangels die Einteilung der Gruppen spontan ändern hätte sollen. Durch eine Zusammenlegung der Gruppen wären zwar nicht alle Themen besprochen worden, es wäre aber so mehr Zeit für die einzelnen Präsentationen geblieben.

6.1.5 Reflexion der fünften Einheit

Die Sequenz mit den als Hausaufgabe zu suchenden Fake-News-Vorstellungen ist zwar prinzipiell gut verlaufen, dennoch war die geringe Ausbeute an Beiträgen eher ernüchternd. Nur etwa die Hälfte der Schülerinnen und Schüler hatte solche für die Einheit vorbereitet. Bereits in der vorigen Einheit, wo nur zehn von 16 Schülerinnen und Schüler den CO₂-Rechner verwendet und mir ihre Ergebnisse geschickt haben, war schon zu erkennen, dass man Hausaufgaben genauer definieren und den Stellenwert dieser mehr hervorheben muss. Bei einer eigenen Klasse sollte man hier am besten eine Liste führen, wer wann welche Hausaufgabe gebracht hat und den Schülerinnen und Schülern klar machen, dass das mit in die Mitarbeit und somit Note einfließt.

6.2 Evaluation durch ein Gruppeninterview

Am 8. November 2019 durfte ich zwei Schülerinnen (M1 und M2) und zwei Schüler (J1 und J2) in einem Gruppeninterview zu den im Mai des selben Jahres gehaltenen Stunden befragen (zeitlicher Abstand: etwa sechs Monate). Dabei stellte ich sowohl Fragen, die den Wissensstand überprüfen sollten, als auch solche, die die Methodik betrafen. Das Transkript dieses Interviews ist im Appendix H (S. 169) zu finden. Die wichtigsten Erkenntnisse werden im Folgenden anhand der fünf Unterrichtseinheiten zusammengefasst. Bei dem Interview wurde vor allem versucht zu evaluieren inwieweit die *key ideas* von den Schülerinnen und Schülern erfasst wurden und welche *Lernendenvorstellungen* immer noch bestehen. Weiters sollte eruiert werden, ob die Erstellung und der wiederkehrende Einsatz der Word Cloud zu einer emotionalen Bindung der Schülerinnen und Schüler zu dem Thema geführt hat.

6.2.1 Erste Einheit

Die Reaktion der Schülerinnen und Schüler bei dem “Wiedersehen” mit der Word Cloud war durchaus positiv. J1 meinte, die Word Cloud “war super [...] prägt sich sehr gut ein ins Gedächtnis” und M1 streichelte das Bild sogar kurz. Diese Schülerin glaubte sich sogar daran zu erinnern, dass ich ganz am Anfang die Klasse gefragt haben soll, welches Thema sie gerne mit mir in den fünf Stunden durchnehmen wollen und die Klasse hätte sich daraufhin aufgrund seiner Aktualität für den Klimawandel entschieden.

Als nächstes wollte ich von den Schülerinnen und Schülern wissen, an welche Eigenschaften der Klimata der verschiedenen Planeten sie sich noch erinnern konnten.

Dabei gab es sowohl einige richtige, aber auch viele falsche Aussagen. Zwar stimmt es, dass der Mars sein Magnetfeld verloren hat, doch kann man nicht von extremen Temperaturunterschieden zwischen Früh und Abend sprechen (außer natürlich an Orten, die z.B. am Abend im Schatten liegen). Bei der Erde erinnerten sich die Schülerinnen und Schüler noch daran, dass sie zu Beginn sehr heiß war (natürlich kein Gasplanet!) und dass es mehrmals zu Eiszeiten kam. Weiters wurde der (natürliche) Treibhauseffekt als wichtiger Faktor für die Temperatur auf der Erde genannt und dass die Erde ohne diesen Effekt ein Eisplanet wäre. Zur Venus blieb zwar in Erinnerung, dass diese eine sehr hohe Oberflächentemperatur vorweist, jedoch sprach J2 im selben Atemzug davon, dass es extreme Temperaturunterschiede gäbe, was nicht der Fall ist. J1 ergänzte, dass die Atmosphäre sehr dünn wäre und dadurch hoher Druck herrsche – in Wahrheit herrscht auf der Venus natürlich ein sehr hoher Druck, weil die Atmosphäre so dicht ist. Prinzipiell haben die Schülerinnen und Schüler diesen Exkurs in die vergleichende Planetologie gut geheißt.

6.2.2 Zweite Einheit

Gleich, nachdem ich die schematische Darstellung des Versuchsaufbaus des Engage-Versuchs aus der zweiten Einheit den vier Schülerinnen und Schüler zeigte (Thermometer neben/unter Glasschüssel), kam auch schon das Stichwort “Glashauseffekt” von J1. M2 fasste das Experiment zusammen und bis auf Kleinigkeiten war es korrekt. M1 ergänzte daraufhin, dass dieses Prinzip auch auf die Erde anwendbar ist, jedoch nannte sie in diesem Zusammenhang die Ozonschicht als Analogon zur Schüssel. Das ist eine bekannte Lernendenvorstellung, die sich anscheinend auch noch nach dem Unterricht in den Köpfen der Schülerinnen und Schüler gehalten hat (mehr dazu im Abschnitt 7.1). Das ist auch wenig später in dem Interview zu erkennen, wo J1 meint, dass sich die Treibhausgase in der Ozonschicht anreichern. Interessant ist auch die Aussage dieses Schülers, dass die Begriffe UVA, UVB und UVC-Strahlung gleichbedeutend mit α -, β - und γ -Strahlung sind.

Als nächstes zeigte ich ihnen zwei Standbilder des Videos, das ich ihnen in der zweiten Einheit vorgespielt hatte, wo jeweils eine schematische Darstellung des Treibhauseffekts mit und ohne anthropogenem Einfluss zu sehen war. Ich bat M2, die bisher eher ruhig war, mir zu erklären, was man auf den beiden Bildern sehen kann. Im Gegensatz zu ihrer Vorrednerin verwendete sie nicht das Wort Ozonschicht, sondern sprach bei ihrer Erklärung lediglich von Treibhausgasen. Im Großen und Ganzen waren ihre Ausführungen richtig, auch wenn sie grobe Lücken aufwiesen. Eine dieser Lücken war die Nichtberücksichtigung der verschiedenen Strahlungsarten bei diesem Vorgang (lang- und kurzwelliges Licht). Auch bei nochmaligem Nachfragen wurde auf die unterschiedlichen Absorptionsraten der Treibhausgase bei unterschiedlichen Wellenlängen nicht wirklich eingegangen. Was ihnen allerdings

klar war, war, dass der Mensch durch Verkehr, Industrie, etc. zur Vermehrung der Treibhausgase in der Atmosphäre beiträgt und er somit (mit-)verantwortlich für die Erderwärmung ist.

Den Begriff *Atmosphärisches Fenster* habe ich in der zweiten Einheit nur kurz erwähnt, bin allerdings nicht näher darauf eingegangen. Aus Interesse habe ich daher die vier Schülerinnen und Schüler gefragt, ob sie dennoch etwas mit diesem Begriff anfangen können. Ihre Vermutungen waren, dass es entweder etwas mit Ozon zu tun hat, oder es eine Stelle in der Atmosphäre bezeichnet, wo Wärmestrahlung entweichen kann.

Prinzipiell haben sie den Einsatz des Videos als gut empfunden. Interessanterweise hat nur M2 (die laut Aussage der Lehrperson lernschwächste) angegeben, dass sie auch selbst mit solchen Videos für Prüfungen lernt.

6.2.3 Dritte Einheit

Um diese Einheit zu rekapitulieren zeigte ich den vier Schülerinnen und Schülern zunächst zwei Photos von dem Experiment zum Abschmelzen der Polkappen. Anhand der Tiere (Pinguin und Eisbär) konnten sie gleich erkennen, welches Photo welchen Pol zeigt. Bei der Frage, zu welchem Ergebnis wir bei diesem Experiment gekommen sind, meinten sie, dass wir so zeigen konnten, dass das Abschmelzen der verschiedenen Eiskappen unterschiedliche Auswirkungen auf den Meeresspiegel hat. Welche genau, da waren sich die Schülerinnen und Schüler zunächst uneinig. Nach einer kurzen Diskussion der Schülerinnen und Schüler untereinander, konnte J1 die anderen mit dem Argument überzeugen, dass das Abschmelzen der südlichen Eiskappe für den Meeresspiegel die größere Bedeutung hätte, da sich hier das Eis auf einer Landmasse befände. Die Schülerinnen und Schüler fügten allerdings noch hinzu, dass es, wenn man die Tiere (Eisbär und Pinguin) betrachtet, das Abschmelzen der Eiskappen für den Eisbären schlimmer wäre, da er seinen Lebensraum verlieren würde, wohingegen die Pinguine auf der Landmasse unter dem Eis weiterleben könnten. In dem Zusammenhang fragte ich die Schülerinnen und Schüler im Anschluss, was ihnen der Begriff *Klimaflüchtlinge* sagen würde. Sofort fiel den Schülerinnen und Schülern dazu die kurze Geschichte des *fluter*-Artikels ein (siehe Appendix E2, S. 153), der die verzweifelten Bewohner einer Pazifik-Insel beschreibt.

Auf die Frage, welche Auswirkungen der Klimawandel auf Österreich habe, kam als erstes gleich das Schmelzen der Gletscher. Man sieht also, dass dieses Phänomen immer noch sehr dominant mit dem Term "Klimawandel in Österreich" verknüpft ist – im Gegensatz zu den viel verheerenderen Phänomenen wie Überschwemmungen, Dürre oder Stürme. Auch kam die Vermutung auf, dass die Auswirkungen des

Klimawandels in den Gebieten südlich der Alpen schlimmer ausfallen werden und es auch wieder zu einer Flüchtlingswelle kommen könnte. Erst später wurde von einem Schüler dann das Stichwort “Überschwemmungen” genannt.

Als nächstes wollte ich von den Schülerinnen und Schülern wissen, welche Wirtschaftszweige vom Klimawandel betroffen sein könnten. Hier kam als erstes Schlagwort “Viehzucht” mit der Erklärung, dass durch weniger Wasser in den Alpen aufgrund des Rückgangs der Gletscher die Almen zurückgehen bzw. Nährstoffärmer werden würden. Gleich danach fielen die Wörter “Skitourismus” und “Agrarwirtschaft” (aufgrund der Veränderung des Bodens).

Mit der letzten Frage zu dieser Einheit sollten die Schülerinnen und Schüler dazu Stellung nehmen, ob sie denken, dass der Klimawandel auch auf sie persönlich einen Einfluss hat/haben wird. Sie antworteten, dass vor allem die Temperaturextrema ihnen zu schaffen machen. Vor allem in der Schule sei es oft im Winter sehr kalt (es wird ihrer Meinung nach nicht geheizt) und im Sommer extrem heiß (vor allem auf der sonnenzugewandten Seite des Schulgebäudes).

6.2.4 Vierte Einheit

An die vierte Einheit konnten sich die Schülerinnen und Schüler im Vergleich zu den anderen Einheiten am schlechtesten erinnern. Erst nach einigen Hilfestellungen konnten sie sich den *profil*-Artikel (siehe Appendix F3, S. 157) und die anschließenden Kurzreferate in Erinnerung rufen. Als ich sie nach konkreten Maßnahmen gegen den Klimawandel bei den verschiedenen Themen Konsum, Verkehr und Wohnen fragte, kamen einige Antworten, die in dem *profil*-Artikel behandelt wurden, wie etwa regionale Produkte einkaufen, weniger Fleisch essen, second hand, Fahrrad statt Auto, weniger fliegen und energieeffizientere Geräte verwenden.

Als nächstes wollte ich von den vier Schülerinnen und Schülern wissen, ob sie jene Begriffe kennen, die im Zusammenhang mit dem Klimawandel oft in den Medien auftauchen. Das erste Wort war *klimaneutral*. Die Schülerinnen und Schüler kannten diesen Begriff bereits aus einem anderen Unterrichtsfach und umschrieben es als Eigenschaft weder klimafreundlich noch klimawandelunterstützend zu sein. Als nächstes nannte ich den Begriff *Dieselskandal*. Nur einer der Schülerinnen und Schüler konnte erklären, dass es sich hierbei um einen Skandal in der Autoindustrie handelte, wo zu niedrige CO₂-Emissionswerte von den Herstellern angegeben wurden. Danach wollte ich wissen, was man unter *seltenen Erden* versteht. In dem Zusammenhang wurden die Worte Aluminium in Afrika und Smartphones genannt. Den nächsten Begriff, Mikroplastik, kannten alle vier Schülerinnen und Schüler. Sie berichteten davon, dass eine große Menge an Mikroplastik in Seen/im Meer

nachgewiesen werden konnte, die im Laufe der Jahre angestiegen ist. Als letztes fragte ich die Schülerinnen und Schüler, was mit dem *2-Grad-Ziel* gemeint ist. Die Schülerinnen und Schüler gaben sofort die Antwort, dass dies der Versuch sei, die Erderwärmung in den nächsten Jahren so einzudämmen, dass sie sich um maximal 2 °C erhöht. Dabei wurde das Jahr 2025 von den Schülerinnen und Schülern als Stichjahr angegeben, wobei es sich bei dem Ziel um eine Eindämmung bis zum Jahr 2100 handelt.

6.2.5 Fünfte Einheit

Für die Einheit zum Thema “Fake News” legte ich den Schülerinnen und Schülern zunächst einen Tweet des amerikanischen Präsidenten Donald Trump vor (siehe Appendix G1, S. 165). Die Schülerinnen und Schüler beschrieben die Wortmeldung von Trump als ungebildet und unwissend und warfen ihm vor, dass er nur nach Ausreden suche. Sie würden ihm entgegnen, dass Erderwärmung (Klimawandel) nicht zwangsweise heißt, dass es überall auf der Erde heißer wird, sondern es auch zu Extremereignissen kommen kann, wie etwa Schnee in Texas und Louisiana. Kurz erwähnten sie auch die Möglichkeit, dass der Golfstrom in Zukunft abreißen könnte. Das Thema Golfstrom haben wir gemeinsam in den fünf Einheiten nicht besprochen, es wird aber im Buch erwähnt. Vielleicht haben die Schülerinnen und Schüler beim Lernen für den Test davon im Buch gelesen oder sie haben diesen Aspekt in einem anderen Fach diskutiert oder gar außerhalb der Schule aufgeschnappt.

Als nächstes zeigte ich den vier Schülerinnen und Schülern ein Comic, das den ehemaligen US-Präsidenten Barack Obama zeigt, wie er scheinbar einen Wissenschaftler besticht, damit er den Klimawandel bestätigen (siehe Appendix G1, S. 165). Eine der befragten Schülerinnen interpretierte das Bild allerdings so, das Obama Wissenschaftlern Geld gab um Forschungen zum Klimawandel zu finanzieren, damit so die Bevölkerung beruhigt werden kann. Einer der beiden Schüler korrigierte sie dann, dass er vermute, dass dieses Comic von Klimawandelskeptikern stamme, die Obama vorwerfen 95 % der Wissenschaftler zu bestechen. Das letzte Bild, das ich den Schülerinnen und Schülern vorlegte, zeigte einen Mann mit einem Kind, die eislaufen und geradewegs auf Risse in der Eisdeck zusteuern. Das Kind deutet auf ein Schild, das die Aufschrift *Vorsicht Klimawandel!* trägt. Der Mann erwidert darauf, dass man nicht alles glauben müsse, was irgendwo geschrieben steht. Die Schülerinnen und Schüler interpretierten dieses Comic so, dass wir Menschen in eine Katastrophe weiterlaufen werden, obwohl wir genug Informationen hätten um etwas dagegen zu unternehmen. Die Rolle des Kindes in dem Bild haben sie mit der Bewegung rund um Greta Thunberg assoziiert. Die Schülerinnen und Schüler merkten dabei an, dass sich die älteren Menschen nicht so um die Zukunft kümmern würden wie es die Kinder tun. Zwei von den Schülerinnen und Schülern gaben

sogar an, dass sie nicht mal mit ihren eigenen Eltern über dieses Thema sprechen könnten.

6.3 Evaluation durch Online-Fragebogen

Am Anfang der fünften Einheit führte ich einen Online-Wiederholungstest (Quiz) mit der gesamten Klasse durch (zehn Wissensfragen, siehe Tab. 6.1, und fünf freiwillige Feedback-Fragen, siehe Tab. 6.2). Diese Art von Test wurde regelmäßig von der regulären Physik-Lehrperson dieser Klasse eingesetzt, womit die Schülerinnen und Schüler keine Probleme bei der Durchführung hatten. Zusätzlich zu dem im vorigen Abschnitt beschriebenen Gruppeninterview wurden die zehn Wissensfragen in einem weiteren Test etwa ein halbes Jahr später noch einmal gestellt. Zu diesen Testfragen habe ich ihnen noch sechs Fragen bzgl. ihrer persönlichen Einstellung zum Klimawandel hinzugefügt. Zusätzlich bat ich die Schülerinnen und Schüler um drei Begriffe, die sie mit *Klimawandel* verbinden um so eine neue Word Cloud zu erstellen (siehe Abb. 6.1). Die Schülerinnen und Schüler sollten die Fragen in Einzelarbeit beantworten. Von den 15 Schülerinnen und Schülern, die den ersten Test absolviert haben, haben 14 auch an dem zweiten Online-Test teilgenommen.

6.3.1 Word Cloud

Mit den drei Begriffen zum Klimawandel, die die Schülerinnen und Schüler in dem Test nennen sollten, habe ich eine weitere Word Cloud erstellt (siehe Abb. 6.1).

Was hier auffällt, ist die große Anzahl an Begriffen, die wir in den fünf Einheiten bearbeitet haben. Lediglich die Begriffe *Tiersterben*, *Schweizer Abkommen*, und *Ozonschicht* haben wir nicht dezidiert besprochen. Mit Tiersterben könnte der Schüler oder die Schülerin einen Bezug mit dem Experiment mit den Polkappen herstellen (Eisbären und Pinguine), mit Schweizer Abkommen ist vielleicht das Pariser Abkommen gemeint, und auf die irreführende Verknüpfung von Ozonloch und Klimawandel (Lernendenvorstellung) wird genauer in Abschnitt 7.1 eingegangen. Im Vergleich zur ersten Word Cloud (siehe Abb. 4.3) ist die Vielfalt an Antworten zurückgegangen. Dass es generell weniger Begriffe sind, könnte darin liegen, dass beim Erstellen der ersten Word Cloud keine obere Schranke für die Anzahl der zu nennenden Begriffe bestand. Die dominanteste Begriffsgruppe mit elf Nennungen ist nun Treibhauseffekt/Treibhausgas/Glashauseffekt, wobei im Vergleich dazu bei der ersten Word Cloud das Wort Treibhauseffekt nur zwei Mal genannt wurde. Die Nennung des Begriffs *Erderwärmung* (oder ähnlicher Begriff) ging hingegen von elf auf fünf zurück. Der Begriff CO₂ kam bei der zweiten Befragung zwei Mal öfter vor (vier auf sechs).



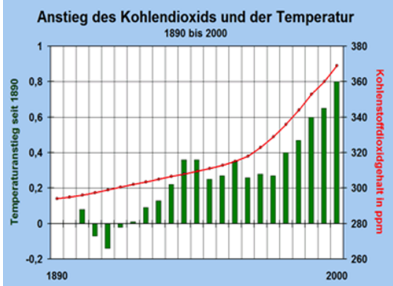
Abb. 6.1. Word Cloud zum Thema Klimawandel (zweite Befragung)

6.3.2 Auswertung des Quiz

Tabelle 6.1 gibt die Fragen und Antwortmöglichkeiten des Quiz wieder. Die Antworten der Schülerinnen und Schüler sind im Appendix I1 (S. 183) zu finden.

Tab. 6.1. Fragen und mögliche Antwortmöglichkeiten beim Test. Die bei Frage 7 gezeigte Grafik zeigt den Zusammenhang zwischen dem atmosphärischen CO₂- und Temperaturanstieg (©Thomas Seilnacht¹).

#	Frage	Antwortmöglichkeiten
1	Venus, Erde und Mars: Suche dir einen Planeten aus und beschreibe, welche(s) Ereignis(se) besonders großen Einfluss auf das Klima des Planeten hatte.	offene Antwort
2	Sauerstoff ist jenes Gas, das am häufigsten in der Erdatmosphäre vorkommt.	Wahr / Falsch
3	Erkläre kurz, wie der Treibhauseffekt in der Erdatmosphäre zustande kommt.	offene Antwort
4	Welche der folgenden Gase zählen zu den Treibhausgasen?	CH ₄ / N ₂ / O ₂ / FCKWs / CO ₂ / N ₂ O
5	Nenne 3 Maßnahmen, mit denen DU zur Reduzierung der von dir hervorgerufenen CO ₂ -Emissionen beitragen könntest.	offene Antwort

6	Ohne dem natürlichen Treibhauseffekt würde auf der Erde eine Durchschnittstemperatur von -18 °C herrschen.	Wahr / Falsch
7	Welche Aussagen kann man aus untenstehender Grafik ablesen?	Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen. / Seit 1890 ist die Temperatur stets gestiegen. / Im Jahr 1990 gab es den höchsten CO ₂ -Gehalt in der Atmosphäre. / Im Jahr 2000 war es in etwa 0,8 °C wärmer als im Jahr 1890.
		
8	Das Abschmelzen der Eismassen der Arktis würde den Meeresspiegel höher ansteigen lassen als das Abschmelzen des Eises der Antarktis.	Wahr / Falsch
9	Nenne mindestens zwei Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels, die man in Österreich in den letzten Jahren beobachten konnte.	offene Antwort
10	Welche der folgenden internationalen Abkommen sollen dem Schutz der Umwelt oder Natur dienen?	Kyoto-Protokoll / Vertrag von Versailles / Übereinkommen von Paris / Lissabon-Strategie / Schengener Abkommen

Im Schnitt haben die Schülerinnen und Schüler beim ersten Test von 10 möglichen 6 Punkte (wenn man bei den offenen Fragen nur 0 oder 1 Punkte vergibt) bzw. 6,77 Punkte (wenn man bei den offenen Fragen 0, 0,5 oder 1 Punkte vergibt) erreicht, beim zweiten 4,48 bzw. 5,12. Bei beiden Tests hat kein Schüler bzw. keine Schülerin die volle Punktezahl erreicht. In Tabelle 6.2 ist die mittlere erreichte Punktzahl der jeweiligen Frage dargestellt. Die Fragen 5 und 6 scheinen den Schülerinnen und Schülern am leichtesten gefallen zu sein, wohingegen die offene Frage 3 den Schülerinnen und Schülern die größten Probleme bereitete. Bei Frage 2 und 5 konnte im Schnitt eine höhere Punktezahl als beim ersten Test erzielt werden, bei Frage 4 genau die gleiche mittlere Punktezahl. Bei den Fragen 3 und 6 zeigt sich ein leicht negativer Trend. Bei den restlichen fünf Fragen ist eine klare Tendenz in Richtung weniger Punkte beim zweiten Test zu erkennen. Am stärksten war der prozentuelle Rückgang bei Frage 10 (minus 60 %).

¹<https://www.seilnacht.com/Lexikon/Treibh.htm>, letzter Zugriff: 05.01.2020

Tab. 6.2. Durchschnittliche Punktezahl der einzelnen Testfragen, wenn bei Beispielen mit offenen Fragen nur 0 und 1 Punkte vergeben werden (links) oder 0, 0.5 und 1 Punkte (rechts). Bei dem ersten Test ist n=15, beim zweiten Test ist n=14 (außer bei Frage 4, wo n=9 ist).

#	erster Test		zweiter Test	
	0/1 Pkt	0/0.5/1 Pkt	0/1 Pkt	0/0.5/1 Pkt
1	0.47	0.67	0.14	0.43
2	0.67	0.67	0.71	0.71
3	0.20	0.53	0.14	0.36
4	0.33	0.33	0.33	0.33
5	0.80	0.87	0.86	0.93
6	0.87	0.87	0.79	0.79
7	0.60	0.60	0.36	0.36
8	0.73	0.73	0.43	0.43
9	0.60	0.77	0.43	0.50
10	0.73	0.73	0.29	0.29
Σ	6.00	6.77	4.48	5.12

Bei den Antworten zu Frage 1 kann man zwar erkennen, dass sich die Schülerinnen und Schüler auch über die doch längere Zeitspanne von sechs Monaten etwas über die Planetenklimageschichten gemerkt haben, jedoch Informationen vertauscht oder unvollständig genannt haben. Fünf Schülerinnen und Schüler wechselten von einem Test zum anderen den zu beschreibenden Planeten, was insofern bemerkenswert ist, als sie jeweils nur einen Planeten während der ersten Unterrichtseinheit selbst intensiv bearbeitet und die anderen beiden nur durch kurze Diskussionen kennengelernt haben. Vielleicht hatten auch die zwei Stunden an zusätzlicher Planetenkunde in der letzten Schulwoche darauf einen Einfluss.

Dass den Schülerinnen und Schülern die Frage 3 am schwersten gefallen ist, ist nicht sonderlich verwunderlich. Bei der Punktevergabe habe ich nur dann einen vollen Punkt gegeben, wenn u.a. die Worte lang/kurzwellig oder UV/IR-Strahlung vorkamen und richtig eingesetzt wurden. Auch bei dieser Frage ist bei vier Antworten die Ozonschicht bzw. Ozon in die Erklärung zum Treibhauseffekt hineingerutscht. Wie man dieser Lernendenvorstellung besser entgegenwirken könnte, wird in Abschnitt 7.1 gezeigt.

Bei Frage 4 ist zu sehen, dass FCKW, CO₂ und CH₄ fast immer richtig als Treibhausgas genannt wurden. Das vierte Treibhausgas (N₂O) hingegen wurde beim ersten Test von knapp der Hälfte, beim zweiten Test gar nur von einem Drittel der Schülerinnen und Schüler angekreuzt. Ähnliche Werte erzielte auch N₂, was vielleicht auf die ähnliche chemische Formel zurückzuführen ist. O₂ hingegen wurde beim ersten Test nur drei Mal, beim zweiten Test sogar nur ein Mal ausgewählt. Obwohl die Schülerinnen und Schüler also meist drei von vier Treibhausgasen richtig identifizieren konnten,

gab das vierte meist den Ausschlag, warum die Antwort schließlich mit null Punkten bewertet werden musste.

Warum die Schülerinnen und Schüler bei Frage 7 beim zweiten Test eher schlecht abgeschnitten haben, ist auf den ersten Blick nicht ganz klar. Bei dieser Frage braucht man eigentlich gar kein Vorwissen sondern muss nur die Informationen aus der Grafik richtig herauslesen – eigentlich eine Grundkompetenz, die die Schülerinnen und Schüler beherrschen sollten. Meine Vermutung wäre, dass sie den zweiten Test nicht gleichermaßen konzentriert durchgeführt haben wie den ersten, da es dabei diesmal nicht um eine für sie relevante Benotung ging. Dasselbe könnte auch für die Fragen 8 und 9 gelten. Besonders bei Frage 9 ist auffällig, dass die Antworten beim zweiten Test tendenziell kürzer ausfielen und zwei SchülerInnen hier sogar überhaupt keine Antwort gegeben haben.

Die Antworten auf Frage 10 schließlich lassen auch einige Vermutungen zu. Haben beim ersten Test noch alle Schülerinnen und Schüler das Pariser Abkommen und etwa 73 % das Kyoto-Protokoll angegeben, sanken die Zahlen auf 86 % und 50 %. Es scheint, als wäre der Begriff “Pariser Abkommen” fester in den Köpfen der Schüler verankert als “Kyoto-Protokoll”. Grund hierfür könnte sein, dass in den Medien heutzutage öfter über das Pariser Abkommen berichtet wird als über das eigentlich bereits ausgelaufenen Kyoto-Protokoll.

6.3.3 Persönliche Fragen

Am Ende des ersten Tests stellte ich den Schülerinnen und Schülern Fragen, die als Feedback zu den Unterrichtseinheiten für mich dienen sollten. Die Antworten auf diese Fragen wurden nicht an die Mentorin und die reguläre Physik-Lehrperson weitergeleitet. Die Fragen und Antworten sind im Appendix I2 (S. 192) zu finden. 13 der 15 Schülerinnen und Schüler haben diese freiwilligen Fragen beantwortet, wobei alle davon angaben, dass sie in den Unterrichtseinheiten neue Informationen über den Klimawandel erfahren haben und dass sich der Unterricht abwechslungsreich gestaltet hätte. Neu waren dabei für viele Schülerinnen und Schüler der physikalische Hintergrund des Treibhauseffekts und die Auswirkungen des Abschmelzens der Polkappen. Mehr hätten sie gerne über weitere Möglichkeiten erfahren, wie der Klimawandel eingedämmt werden könnte und Allgemeines über andere Planeten. Zusätzlich bat ich die Schülerinnen und Schüler die Unterrichtseinheiten mit drei Adjektiven zu beschreiben. Die daraus entstandene Word Cloud ist in Abb. 6.2 zu sehen. Das am häufigsten genannte Adjektiv war dabei *informativ*, gefolgt von *spannend* und *kreativ*.



Abb. 6.2. Auszug aus dem schriftlichen Feedback der Schülerinnen und Schüler am Ende der fünf Unterrichtseinheiten

Zum Abschluss des zweiten Online-Fragebogens stellte ich den Schülerinnen und Schülern noch folgende sechs Fragen, die sich um ihre persönliche Haltung zum Thema Klimawandel drehen:

1. Hat sich durch die fünf Unterrichtsstunden zum Thema Klimawandel dein Interesse an diesem Thema verstärkt?
2. Wie sehr beunruhigt dich persönlich die Diskussion um den Klimawandel?
3. Wie sehr, glaubst du, wird dich persönlich der Klimawandel in den nächsten Jahrzehnten betreffen?
4. Wie wichtig ist es, deiner Meinung nach, gezielte Maßnahmen gegen den Klimawandel zu setzen?
5. Wer sollte, deiner Meinung nach, aktiver gegen den Klimawandel vorgehen (warum und wie)?
6. Hast du in den letzten Monaten aktiv etwas gegen den Klimawandel gemacht (z.B. recycled, bei Demos mitgemacht, mit deinen Eltern über das Thema gesprochen, etc.)?

Für die ersten vier Fragen war ein Wert zwischen 1 (gar nicht) und 5 (viel) zu wählen, die anderen beiden Fragen waren offen. In Abb. 6.3 sind die Antworten der Schülerinnen und Schüler auf die ersten vier Fragen als Boxplots dargestellt. Bei den Antworten der Schülerinnen und Schüler ist ganz klar eine besorgte Grundeinstellung bzgl. des Klimawandels und den damit zusammenhängenden Zukunftsaussichten zu erkennen.

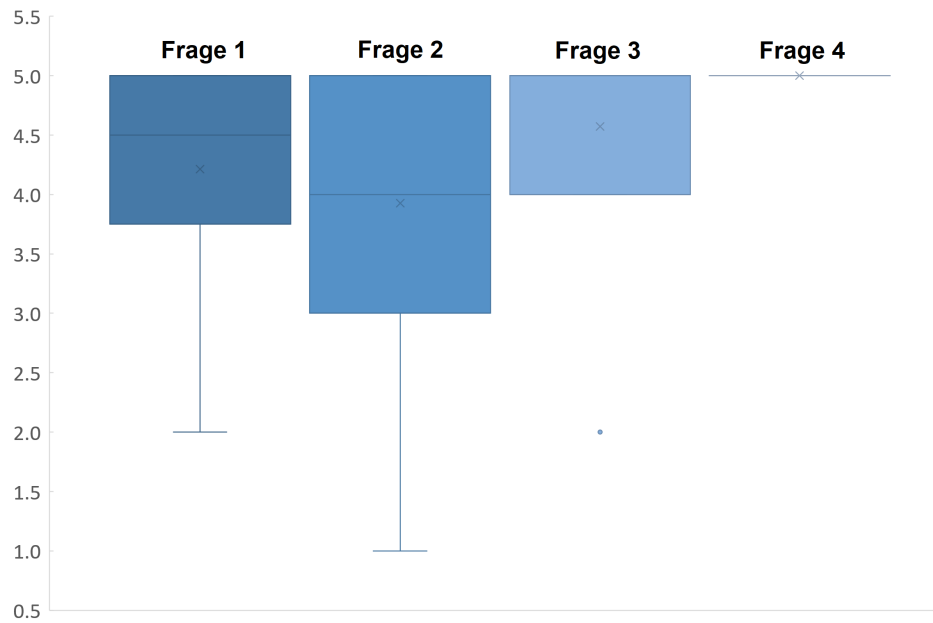


Abb. 6.3. Boxplots der Antworten auf die persönlichen Fragen 1 - 4 (zweite Befragung, n=14).

Die erste Frage wurde mit 4.2 ± 1.0 Punkten (Median 4.5, Modalwert 5) beantwortet. Das Interesse der Lernenden am Thema Klimawandel hat sich somit eindeutig durch die Unterrichtseinheiten verstärkt. Im Schnitt vergaben die Schülerinnen und Schüler 4.6 ± 0.9 Punkte (die große Standardabweichung ist durch einen einzelnen Ausreißer begründbar- ohne Ausreißer: 4.8 ± 0.4 Punkte; Median und Modalwert beträgt beide Male 5) bei Frage 3. Sie sehen also ganz klar eine Zukunft, die vom Klimawandel geprägt sein wird.

Auf die Frage, wie wichtig es wäre, etwas gegen den Klimawandel zu unternehmen (Frage 4), waren sich die Schülerinnen und Schüler einig: alle stimmten für sehr wichtig und vergaben 5 von 5 Punkten. Wer jedoch schließlich die Maßnahmen setzen sollte, war nicht ganz so eindeutig (Frage 5). Die meisten Nennungen erhielt "die Politik" bzw. "Politiker", gefolgt von "der Jugend" bzw. "wir selber"/"die Bevölkerung" (siehe Appendix I3, S. 195). Die Schülerinnen und Schüler sehen also ganz klar die Politik in der Pflicht, wobei sie sich selbst auch für den Kampf gegen die Erderwärmung einsetzen (würden). Teilweise haben sie damit auch schon begonnen, was die Antworten auf Frage 6 zeigen (siehe Appendix I3, S. 195). Einige haben bei den *Fridays for Future* Demonstrationen mitgemacht, viele recyceln, trennen Müll, versuchen aktiv auf Plastik zu verzichten und ein paar benützen bewusst vermehrt die öffentlichen Verkehrsmitteln bzw. fahren mit dem Rad. Dass die Schülerinnen und Schüler das Thema beschäftigt, erkennt man daran, dass sie aktiv das Gespräch mit der Familie oder Freunden suchten.

Obwohl die Schülerinnen und Schüler sich einig sind, dass etwas gegen den Klimawandel unternommen werden muss, beunruhigt sie die aktuelle Diskussion über dieses Thema nicht sehr stark (Frage 2, 3.9 ± 1.0 Punkten von 5; Median und Modalwert beide 4).

Conclusio

Bis auf kleine zeitliche Probleme an der einen oder anderen Stelle war das erdachte Konzept gut in die Praxis umzusetzen und ist auch durchaus positiv von den Schülerinnen und Schülern angenommen worden (siehe Abb. 6.2). Dennoch konnte in der Evaluierung ein halbes Jahr später festgestellt werden, dass sich einige Lernendenvorstellungen gehalten haben. Wie man diesen entschiedener entgegenwirken könnte, soll in Abschnitt 7.1 gezeigt werden. Gemäß den Erkenntnissen, die sich aus der Analyse der gesammelten Daten ergeben haben, wurde die Stundenplanung teilweise stark überarbeitet (Abschnitt 7.2). Zusätzlich werden im Abschnitt 7.2.6 noch einige alternative Stundenplanungen präsentiert. Abschließend wird der Versuch gemacht, ein Fazit und Antworten auf die Forschungsfragen zu geben (Abschnitt 7.3).

7.1 Bestehende Lernendenvorstellungen

Beim Interview mit den vier Schülerinnen und Schülern und bei der einen oder anderen Antwort des Online-Tests hat sich gezeigt, dass sich einige Lernendenvorstellungen hartnäckig gehalten haben. Im Folgenden sollen diese kurz präsentiert werden:

Die Ozonschicht (bzw. das Loch darin) ist für den Treibhauseffekt verantwortlich. Auf die Aufforderung, den Treibhauseffekt zu erklären (Frage 3 beim Onlinetest, siehe Tab. 6.1), wurden Antworten wie “Treibhausgase in der Ozonschicht sorgen aber dafür das ein Teil [der Sonnenstrahlung] wieder zurück zur Erde reflektiert wird” (Test 1, Schüler/Schülerin 9), “durch die abgase der zb autos, Flugzeuge usw. wird die ozon schicht dicker” (Test 1, Schüler/Schülerin 13) oder “Wenn zu viel CO₂ ausgestoßen wird sammelt es sich bei der ozonschicht die infrarotstrahlen kommen hinein aber schwer wieder hinaus die ozonschicht wird erwärmt es wird heißer” (Test 2, Schüler/Schülerin 5) gegeben. Die Lernendenvorstellung, dass die Ozonschicht bzw. das Loch darin direkt für den Treibhauseffekt verantwortlich ist, wurde bereits bei anderen Studien ermittelt, nachzulesen etwa bei Parchmann [1996], Schreiner et al. [2005], Niebert [2009, 2010], Reinfried et al. [2010], Schuler [2010] oder Chang und Pascua [2016]. In beiden Arbeiten von Kai Niebert wird sehr ausführlich darauf eingegangen, dass Schülerinnen und Schüler oft die Ozonschicht als eine

Art Schutzschicht sehen, in die durch vom Menschen produziertes CO_2 ein Loch gefressen wird. Die Erderwärmung erklären sich die Schülerinnen und Schüler dann entweder durch eine aufgrund des Loches erhöhte Menge an in das System Erde eindringende Sonnenstrahlung oder durch eine gedachte “Strahlenfalle” (Strahlung tritt durch das Ozonloch ein, aber kann nicht mehr austreten, bleibt somit unter der Ozonschicht gefangen und sorgt so für eine Erwärmung der Atmosphäre). Allgemein kann man vom Konzept “Mehr Sonnenstrahlung dringt durch das Ozonloch und erwärmt so die Erde” sprechen [Niebert, 2010, S. 103ff]. Hier fehlt allerdings meist die Unterscheidung der Strahlungsarten (UV bzw. IR-Strahlung). Stattdessen wird der Begriff “Sonnenstrahlung” synonym für die unterschiedlichen Strahlungsarten (gesamtes Spektrum) inkl. Wärmestrahlung verwendet (siehe dazu Abb. 7.1).

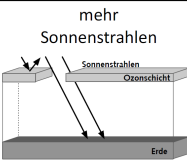
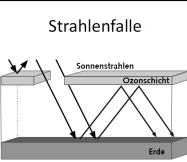
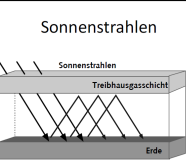
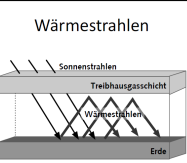
	ERWÄRMUNG DURCH OZONLOCH		ERWÄRMUNG DURCH TREIBHAUSEFFEKT	
Variante				
Speicher-Fluss-Schema	Ozon ist Behälterwand		CO_2 ist Behälterwand	
	CO_2 zerstört Behälterwand		Durchlässigkeit von CO_2 ist abhängig von Strahlungsrichtung	Durchlässigkeit von CO_2 ist abhängig von Strahlungsart
	beteiligte Strahlung		Wärmestrahlung	
	Verhalten der Strahlung		Reflexion	Umwandlung
Gleichgewichtsschema	Erwärmung durch mehr Einstrahlung		Erwärmung durch weniger Abstrahlung	

Abb. 7.1. Zusammenfassung der Denkfiguren zu den Lernendenvorstellungen “Erwärmung durch das Ozonloch” und “Erwärmung durch den Treibhauseffekt”, aus Niebert [2010] (S. 117).

In Niebert [2009] bzw. Niebert [2010] beschreibt der Autor, wie man diesen Lernendenvorstellungen entgegentreten könnte. Über das Aufzeigen von Unterschieden soll bei den Schülerinnen und Schülern eine Unzufriedenheit mit ihren bisherigen Vorstellungen hervorgerufen werden, die schließlich zu einer Vorstellungsrekonstruktion führen sollen. Laut Niebert [2010] soll die Differenzierung der physikalischen Effekte, die hinter dem Ozonloch und dem Treibhauseffekt stecken, dabei in drei Lernangeboten übermittelt werden: 1) Unterschiedliche Prognosen (Ozonloch wird kleiner, Erderwärmung nimmt zu), 2) Räumliche Trennung (lokale Ozonschicht vs. gleichförmige Verteilung), 3) Weniger Ausstrahlung statt Mehr Einstrahlung (Treibhausgase halten Strahlung im System, Ozonloch lässt Strahlung herein). Diesem Schema gemäß soll zunächst mit den Schülerinnen und Schülern der Unterschied zwischen Ozonloch und Treibhauseffekt bzw. Treibhausgasen besprochen werden, wobei versucht werden soll, das Wort “Schicht” so gut wie möglich zu vermeiden.

Denn gerade dieses Wort verleitet Schülerinnen und Schüler oft zu der oben beschriebenen falschen Vorstellung. Besser ist es, wenn man den Schülerinnen und Schülern vermittelt, dass die Treibhausgase nicht in einer dünnen Schicht in einer bestimmten Höhe zu finden sind, sondern sich über mehrere atmosphärische Schichten verteilen (natürlich mit lokalen Erhöhungen, z.B. in der Nähe von Städten oder Industriegebieten bzw. Kohlekraftwerken und Gaskraftwerken). Dies sollte auch bereits bei den Modellen zum Treibhauseffekt den Schülerinnen und Schülern klar gemacht werden (vgl. Experiment mit Glasschüssel in zweiter Einheit der Lernumgebung bzw. siehe Abschnitt 7.2.2, S. 92, für das verbesserte Konzept). Als nächstes soll ein Fokus auf die Unterscheidung der verschiedenen beteiligten Strahlungsarten gelegt werden. Dafür hat Niebert folgenden Merksatz formuliert: “Die Ozonschicht ist durchlässig für sichtbares Licht und IR-Strahlung, aber weitgehend undurchlässig für UV-Strahlung. Die Treibhausgase sind durchlässig für sichtbare Strahlung, aber weitgehend undurchlässig für IR-Strahlung. Sichtbares Licht wird am Erdboden zum Großteil absorbiert und als Wärmestrahlung [besser: IR-Strahlung] emittiert” [Niebert, 2009, S. 22]. Der Autor empfiehlt auch den Begriff des Gleichgewichtszustandes in diesem Zusammenhang einzuführen und den Schülerinnen und Schülern zu erklären, dass sich durch den anthropogenen Treibhauseffekt ein neuer Gleichgewichtszustand auf einem höheren Temperaturniveau einstellt.

Bei genauerer Recherche der wissenschaftlichen Studien zum Thema Treibhauseffekt und Ozonloch stößt man jedoch auch auf Arbeiten, die einen gewissen Zusammenhang zwischen den beiden Phänomenen gezeigt haben. So zeigten Lenton et al. [2009], dass die Reduzierung von Ozon in der Stratosphäre einen negativen Einfluss auf die globale Speicherkapazität von CO_2 in den Ozeanen hat. Die Autoren dieser Studie sprechen dabei von einer Aufnahmereduktion von etwa 2.3 Milliarden Tonnen CO_2 in den Jahren 1987 bis 2004. Andere Studien konnten zeigen, dass durch das Ozonloch eine Veränderung der Wind- bzw. Wasserströmungen auf der Südhalbkugel zu beobachten sind, die das Klima der Südhalbkugel beeinflussen [Lee und Feldstein, 2013, Waugh et al., 2013]. Für den Regelunterricht würde ich jedoch nicht empfehlen, diese Zusammenhänge aufzuzeigen, um die weitläufig bestehende Lernendenvorstellung nicht unbewusst zu festigen. Wenn man jedoch das Thema Klimawandel als globales Thema für ein Wahlpflichtfach Physik wählt, dann könnte in so einem Umfeld sehr wohl auf diesen Zusammenhang eingegangen werden. Dabei sollte jedoch viel Wert darauf gelegt werden, dass es sich hier nur um indirekte Zusammenhänge handelt und dass es eine große Anzahl an Verknüpfungen und Rückkopplungsmechanismen gibt, die in verschiedene Richtungen wirken. Wie man das Thema Rückkopplungsmechanismen bearbeiten könnte, wird in Abschnitt 7.2.6 beschrieben.

Die Erde erwärmt sich, weil die Atmosphäre durch Treibhausgase dichter wird.
Im Gespräch mit den vier Schülerinnen und Schülern hat sich gezeigt, dass auch diese

Lernendenvorstellung bei der befragten Schülerin (M2, siehe Interviewtranskript auf S. 172) immer noch zu finden ist. Hier sagte sie “[...] wegen den Treibhauseffekten und allen Gasen, also z.B. CO₂, haben wir eine, ähm, eine eher dichtere Atmosphäre. Und wenn die Sonnenstrahlen halt auf der Erde treffen, dann können halt, das meiste nicht wieder rausgehen und es wird halt wegen der Atmosphäre wieder zurück reflektiert und wir haben dann halt eine Erwärmung auf der Erde”. Auch diese Lernendenvorstellung wurde bereits in Niebert [2009, 2010] beschrieben. In der Vorstellung der Schülerinnen und Schüler verdichtet das vom Menschen erzeugte CO₂ die Atmosphäre (oder eine bestimmte Schicht dieser), wobei das von der Sonne kommende Licht diese Schicht durchdringen kann, die vom Erdboden reflektierte Strahlung jedoch nicht, womit es zu einer Erwärmung der Atmosphäre kommt. Manche Schülerinnen und Schüler unterscheiden hier sogar zwischen einfallender (UV-)Strahlung und reflektierter IR-Strahlung (siehe dazu Abb. 7.1).

Hier muss man den Schülerinnen und Schülern bewusst machen, dass die Treibhausgase eigentlich nur einen kleinen Prozentsatz der gesamten Atmosphärenzusammensetzung ausmachen – so liegt der Anteil von CO₂ bei etwa 400 ppm und jener von CH₄ bei nur 1.8-1.9 ppm [IPCC, 2014]. Somit kann sich eine Zunahme dieser Gase nicht derart stark auf die Dichte der Atmosphäre auswirken. Doch neben der Dichte kommt es in diesem Zusammenhang auf die Transparenz (bzw. ihrem Kehrwert, der Opazität) der Gase an. Die in der Erdatmosphäre dominierenden Gase N₂ und O₂ sind sowohl für die einfallende UV-Strahlung als auch für die von der Erdoberfläche re-emittierte IR-Strahlung transparent (Ausnahmen, siehe atmosphärische Fenster, S. 7). Die Treibhausgase hingegen absorbieren die re-emittierte Strahlung bei unterschiedlichen Wellenlängen (siehe Abb. 7.2).

Im Zuge dieses Themas sollte auch auf das Treibhausgaspotential (*Global Warming Potential*) der verschiedenen Gase eingegangen werden. Diese Werte geben an, um wieviel stärker ein bestimmtes Gas zur globalen Erwärmung beitragen kann im Vergleich zu CO₂. Im *Fifth Assessment Report* der IPCC wurde für einen Zeitraum von 20 Jahren etwa den Treibhausgasen CH₄ und N₂O Werte von 84 bzw. 264 zugeschrieben [IPCC, 2014, Box 3.2, Table 1, S.87]. Bezogen auf 100 Jahre sinkt dieser Werte auf 28 für CH₄, aber steigt leicht auf 265 für N₂O.

Treibhausgase sind vorwiegend bei Städten anzufinden. Während des Interviews, als ich die Schülerinnen und Schüler fragte, wo sie glauben, dass sich die meisten Treibhausgase befinden würden, wurde von ihnen einstimmig geantwortet, dass dies lokal um die Städte bzw. Fabriken sein müsste (siehe Interviewtranskript auf S. 173). Dies widerspricht allerdings der etwas später geäußerten Idee, dass sich die Treibhausgase in der Ozonschicht anreichern (siehe Interviewtranskript auf S. 174). Auch hier gilt es, wie bereits weiter oben erwähnt, den Schülerinnen und Schülern näher zu bringen, dass sich die Treibhausgase über weite Teile der Atmosphäre

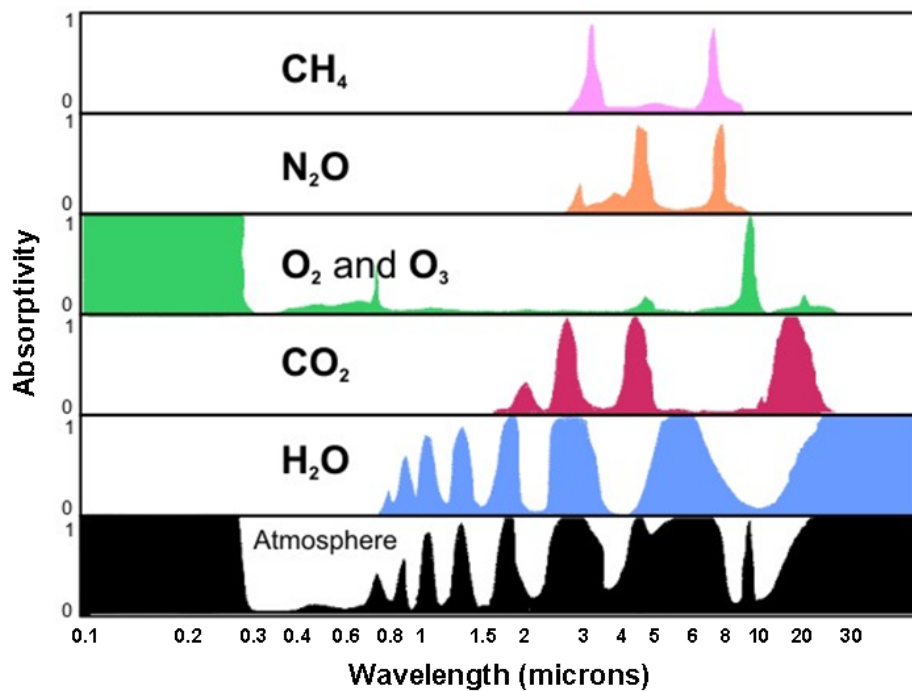


Abb. 7.2. Absorptionsspektrum ausgewählter Treibhausgase und der gesamten Atmosphäre, ©David Babb (https://www.e-education.psu.edu/meteo3/l2_p7.html, letzter Zugriff: 30.05.2020).

verteilen. In der Studie von Chang und Pascua [2016] gingen manche Schülerinnen und Schüler sogar einen Schritt weiter, und erklärten, dass Fabriken, Atomkraftwerke, etc. heißes Gas ausstoßen, was wiederum zur Erderwärmung beiträgt.

Die unterschiedlichen Strahlungstypen - z.B.: Die Begriffe UVA, UVB, und UVC-Strahlung sind gleichbedeutend mit α -, β - und γ -Strahlung. Diese Lernendenvorstellung konnte ich nicht in der Literatur finden, jedoch bei dem Gespräch mit den Schülerinnen und Schülern während des Interviews feststellen. Als die Sprache auf die verschiedenen UV-Strahlungstypen kam, warf J1 die Begriffe α -, β - und γ -Strahlung ein und dass α - und β -Strahlung leichter abzuschirmen seien. Abschließend wiederholte er seine Annahme mit den Worten “UVC ist das schlimme. Es ist einfach α , β und γ , wenn man es so sieht” (J1, siehe Interviewtranskript auf S. 174). Hier liegt, meiner Meinung nach, eine Verwechslung der UV-Strahlungstypen mit jenen der ionisierenden Strahlung vor. Hier sollte man als Lehrperson sofort entgegenwirken indem man auf einer Abbildung des elektromagnetischen Spektrums zeigt, wo sich die γ -Strahlung und wo sich die UV-Strahlung befindet und weiters darauf eingehen, dass α - und β -Strahlung im Gegensatz zu γ - und UV-Strahlung aus (geladenen) Teilchen bestehen.

Eine weitere in Niebert [2010] beschriebene Lernendenvorstellungen ist etwa die Denkfigur des “künstlichen Kohlenstoffdioxids”, also die Nichtbeachtung von na-

türlichen CO₂-Quellen bzw. der Annahme, dass das gesamte atmosphärische CO₂ anthropogenen Ursprungs ist. Eine Variante davon stellt die Differenzierung zwischen “natürlichem” und “künstlichem” CO₂ dar, wobei aus Sicht mancher Schülerinnen und Schüler das künstliche CO₂ strukturell verändert und somit “schlecht” ist, da es nicht mehr durch natürliche Prozesse gebunden werden kann und sich somit in der Atmosphäre ansammelt. Interessant war auch, dass in der Studie von Chang und Pascua [2016] einige Schülerinnen und Schüler angaben, dass sie den Klimawandel auch als Grund für tektonische Aktivitäten wie etwa Vulkanausbrüche und Tsunamis sehen. Viele weitere Lernendenvorstellungen werden, in Problemkomplexen eingeteilt, in Roßbegalle [2015] vorgestellt bzw. in fünf Teilen bei Shepardson et al. [2011].

7.2 Umgestaltung des Unterrichtskonzepts

Die wichtigsten Verbesserung liegen sicher in einer Herangehensweise, die gezielt den oben beschriebenen hartnäckigsten Lernendenvorstellungen entgegenwirkt. Bei genauerer Betrachtung werden die Themen der vier im vorigen Abschnitt genauer erläuterten Lernendenvorstellungen in der zweiten Einheit (Treibhauseffekt) bearbeitet. Diese Einheit bedarf daher der stärksten Überarbeitung und wird auch am ausführlichsten auf den folgenden Seiten beschrieben. Da dieser Einheit ein so großes didaktisches Gewicht zukommt, sollte sie am Besten auf zwei Stunden ausgedehnt werden. Bei den anderen Einheiten bedarf es nur kleinerer Veränderungen, wobei die fünfte Einheit besser ohne Test durchgeführt werden sollte, um dem Thema *Fake News rund um den Klimawandel* und dem damit einhergehenden Aneignen von S-Kompetenzen (siehe Abb. 4.1, S. 43) mehr Bedeutung zukommt. Für jede Einheit wurde eine neue Tabelle zur Stundenplanung erstellt und durch eine kurze Erklärung ergänzt.

7.2.1 Erste Einheit

Tab. 7.1. Überarbeitete Stundenplanung der ersten Einheit

Key Idea/s, die angesprochen wird/werden:			
<ul style="list-style-type: none"> - Das Klima der Erde hat sich bereits in der Vergangenheit oft geändert. - Auch auf anderen Planeten ist bzw. war das Klima im Wandel. - Wichtige Einflussfaktoren auf das Klima sind die Sonneneinstrahlung und die Zusammensetzung der Erdatmosphäre. - Die Erdatmosphäre besteht vorwiegend aus Stickstoff (78.08 %), Sauerstoff (20.95 %) und Argon (0.93 %). 			
Lernendenvorstellungen:			
<ul style="list-style-type: none"> - Das Klima der Erde war konstant über die gesamte Erdgeschichte. - Die "Luft" besteht vorwiegend aus Sauerstoff. 			
Feinziel/e (Kompetenzen): Ich kann...			
<ul style="list-style-type: none"> - Ursachen für Klimaveränderungen auf verschiedenen Planeten beschreiben und benennen (W1). - Auswirkungen von Naturereignissen auf das Klima beschreiben (W4). - Fachspezifische Informationen zu Klimaveränderungen auf verschiedenen Planeten bewerten und Schlüsse ziehen (S1). 			
Zeit	5 E's	LehrerInnenaktivität	SchülerInnenaktivität
15 min	Engage	<p>Photo von Greta Thunberg zeigen und fragen, wer das ist.</p> <p>Frage: Was assoziiert ihr mit dem Begriff "Klimawandel"?</p> <p>(QR-Code bzw Link zu Google-Forms poll¹)</p> <p>Schülerantworten in Applet kopieren, das Wort-Wolken bildet²</p>	<p>SuS³ sollen antworten.</p> <p>SuS sollen Assoziation mit dem Begriff "Klimawandel" online in Google Forms eintragen. Können auch etwas hineinschreiben, das sie immer schon interessiert hat zu dem Thema</p>
5 min	Explore1	<p>Thema: <i>Zusammensetzung der Erdatmosphäre</i></p> <p>Mit SuS gemeinsam auf Fragen F1 und F2 eingehen.</p> <p>Word Cloud zeigen und gemeinsam mit SuS besprechen. <i>In den nächsten Einheiten werden wir die physikalischen Hintergrundinformationen der einzelnen Begriffe gemeinsam erarbeiten.</i></p>	<p>SuS sollen Buch S.103 (Big Bang 7, SBNr 140177) lesen (Inhalt: Luft-Zusammensetzung der Erde) und Fragen F1 (Luftzusammensetzung: Bestandteile) und F2 (% und ppm) beantworten.</p> <p>SuS sollen Vermutung ins Heft schreiben, warum CO₂ so wichtige Rolle bei Klimawandel-Debatte einnimmt, obwohl es doch nur einen so kleinen Teil der Atmosphäre ausmacht.</p>

¹<https://forms.gle/UdN9sPLWXYSi1dQK6>, letzter Zugriff: 16.05.2019

²<https://www.wordclouds.com/>, letzter Zugriff: 04.01.2020

³SuS: Schülerinnen und Schüler

20 min	Explore2	<p><i>Bevor wir uns aber mit dem heutigen Klima bzw. dem Klimawandel beschäftigen, sollten wir uns zunächst die Klimageschichte der Erde näher ansehen. Wir wollen sogar einen Schritt weiter gehen und auch die Klimageschichte unserer beiden Nachbarplaneten betrachten.</i></p> <p>Planetentexte austeilen (siehe Appendix J1, S. 197)</p> <p>Fragen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gib Ereignisse an, die das Klima auf den Planeten besonders beeinflusst haben! - Inwiefern veränderten diese Ereignisse das Klima? - Vergleiche die heutigen klimatischen Bedingungen der Planeten miteinander! 	<p>Gruppenpuzzle: Einteilung in 3 Gruppen mit Planetenkarten (inkl. Nummer auf der Rückseite): Venus, Erde und Mars.</p> <p>Jede Gruppe bekommt einen Text zu lesen und soll gemeinsam die ersten beiden Fragen beantworten.</p> <p>Es sollen sich neue 3er Gruppen finden (anhand von Nummer auf Rückseite der Planetenkarten) und die dritte Frage gemeinsam beantworten. SuS dürfen auch im Internet recherchieren, falls sie mehr Informationen benötigen.</p>
10 min	Explain	<p>Wichtigste Punkte gemeinsam zusammenfassen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Venus: früher Wasserozeane auf Venus, aber diese verdampften (da Abstand zur Sonne geringer) Venus wurde immer wärmer und CO₂ gaste aus Gesteinen aus es bildete sich eine sehr dichte CO₂-Atmosphäre aus heute sehr hohe Temp und hoher Druck auf Oberfläche -Erde: erst nach Abkühlung von Erde bildeten sich große Ozeane Mikroorganismen entstanden und produzierte Sauerstoff Sauerstoff führte zur Ausbildung von Ozonschicht 	<p>Antworten im Plenum vergleichen und gegebenenfalls SuS untereinander diskutieren lassen</p>

-Mars:

Mars hatte in Frühzeit vielleicht lebensfreundliches Klima
Magnetfeld ging verloren und so auch die dichte Atmosphäre
heute nur sehr dünne CO₂-Atmosphäre;
es ist kalt

Im Allgemeinen kann man aus dem Vergleich der Klimageschichten erkennen, dass die Sonneneinstrahlung und die Zusammensetzung der Atmosphäre einen großen Einfluss auf das Klima haben.

Überleitung zur nächsten Einheit:

Nächstes Mal schauen wir uns an, warum die Atmosphäre so einen großen Einfluss auf das Klima hat. Dabei werden wir herausfinden, wieso es auf der Venus so extrem heiß und auf der Erde nicht so kalt wie am Mars ist.

Den Einstieg in die Thematik würde ich gleich belassen, d.h. mit dem Bild von Greta Thunberg starten und dann die Schülerinnen und Schüler nach ihren Assoziationen zu dem Begriff "Klimawandel" fragen um eine Word Cloud zu erstellen. Das Interview hat gezeigt, dass das wiederholte Aufgreifen dieser Grafik bei den Schülerinnen und Schülern einen positiven Eindruck hinterlassen hat. Als nächstes sollen die Schülerinnen und Schüler einen Abschnitt im Buch Big Bang 7 zum Thema "Luft-Zusammensetzung" lesen (Big Bang 7, SBNr 140177, S. 103). Hierbei sollte die Lehrperson nicht nur Wert auf die richtige Beantwortung der Fragen F1⁴ und F2⁵ legen, sondern gesondert auf den geringen Anteil des CO₂ in der Atmosphäre eingehen. Die Schülerinnen und Schüler sollen daraufhin ihre Vermutung, warum dennoch immer von CO₂ in der Klimawandeldebatte die Rede ist, in ihr Heft schreiben. Am Ende der zweiten Einheit soll die Lehrperson die Schülerinnen und Schüler nach ihrer ursprünglichen Vermutung befragen und ob bzw. wie sie nach dem, was sie in der zweiten Einheit erfahren haben, ihre Antwort umschreiben sollten.

Die Texte des nächsten Teils dieser Einheit waren in ihrer ursprünglichen Fassung viel zu lange. Im Appendix J1 (siehe S. 197ff) sind neue und gekürzte Versionen zu finden. Durch das Kürzen der Texte sollte den Schülerinnen und Schülern mehr Zeit bleiben

⁴"Wie setzt sich die Luft zusammen? Was sind ihre Hauptbestandteile? Welcher Bestandteil ist für den Menschen unmittelbar besonders wichtig?" aus *Big Bang 7* von Martin Apolin (SBNr 140177, ISBN 978-3-209-04867-7), S. 103.

⁵"Stoffe in der Luft werden manchmal in ppm angegeben! Weißt du, was das bedeutet? Und was heißen Prozent und Promille eigentlich wörtlich?" aus *Big Bang 7* von Martin Apolin (SBNr 140177, ISBN 978-3-209-04867-7), S. 103.

um auf die drei (überarbeiteten) Fragen/Aufgaben in den verschiedenen Gruppen eingehen zu können und um sich zu den Planeten und ihren Klimageschichten auszutauschen. Die Fragen/Aufgaben würde ich wie folgt umformulieren, damit sie eindeutiger mit den *key ideas* und den Zielen dieser Einheit übereinstimmen:

1. Gib Ereignisse an, die das Klima auf den Planeten besonders beeinflusst haben!
2. Inwiefern veränderten diese Ereignisse das Klima?
3. Vergleicht die heutigen klimatischen Bedingungen der Planeten miteinander!

Die ersten beiden Fragen gehen Hand in Hand und sollten durch die Bereitstellung der Texte beantwortbar sein. Die dritte Frage kann erst in den gemischten Gruppen bearbeitet werden. Die hier angewendete Methodik entspricht einem zweiphasigen Gruppenpuzzle, wobei mit der Expertenrunde begonnen wird. Im Anschluss an die Gruppenarbeit sollen die wichtigsten Erkenntnisse gemeinsam ins Heft übertragen werden (siehe überarbeitete Stundenplanung, Tab. 7.1). Man sollte zusätzlich im Anschluss an die Einheit die drei Texte allen Schülerinnen und Schülern über eine Lernplattform, über Email oder in gedruckter Version zur Verfügung stellen, damit sie bei Interesse auch die Informationen über die anderen Planeten nachlesen können.

Bei der gehaltenen Stunde wurde als dritte Frage nach einem möglichen Wetterbericht auf einem der Planeten gefragt. Diese Frage fällt in der überarbeiteten Unterrichtsplanung weg. Stattdessen wird das Thema “Klima vs. Wetter” kurz in der dritten Einheit angesprochen.

7.2.2 Zweite Einheit

Tab. 7.2. Überarbeitete Stundenplanung der zweiten Einheit

Key Idea/s, die angesprochen wird/werden:

- Wichtige Einflussfaktoren auf das Klima sind die Sonneneinstrahlung und die Zusammensetzung der Erdatmosphäre.
 - Die Erdatmosphäre ist nur in begrenzten Wellenlängenbereichen durchlässig für elektromagnetische Strahlung (z.B. im optischen Bereich oder Teilen des IR-Bereichs). Diese Bereiche nennt man auch “atmosphärische Fenster”.
 - Der (natürliche) Treibhauseffekt beschreibt die Absorption und darauffolgende neuerliche Emission (in alle Richtungen) von elektromagnetischer Strahlung (IR-Strahlung) durch Treibhausgase in der Atmosphäre. Dieser Vorgang führt dazu, dass ein Teil der IR-Strahlung im System Erde verbleibt und so zu einer Erwärmung des Systems führt.
 - Der anthropogene (bzw. zusätzliche) Klimawandel beruht vorwiegend auf dem steigenden Prozentsatz an (zusätzlichen) Treibhausgasen in der Erdatmosphäre (anthropogener Treibhauseffekt) durch Eingriffe in die Natur durch den Menschen (Abholzung, Flächenversiegelung, Landwirtschaft, Verkehr, Industrie, etc.).
 - Die bekanntesten Treibhausgase sind Wasserdampf, CO₂, CH₄, N₂O und FCKW.
-

Lernendenvorstellungen:

- Der Klimawandel ist nur eine Erfindung der Medien bzw. der Politik.
- Luftverschmutzung führt zum Klimawandel.
- Das Ozonloch verursacht den Klimawandel.
- Der momentane Klimawandel ist ein wiederkehrendes Phänomen bzw. Teil eines natürlichen Zyklus
- Die "Luft" besteht vorwiegend aus Sauerstoff.

Feinziel/e (Kompetenzen): Ich kann...

- die Vorgänge, denen der Treibhauseffekt zugrunde liegt, beschreiben und benennen (W1).
- beschreiben, welchen Einfluss die Menschen & ihr Handeln auf den Treibhauseffekt und das Erdklima haben (W1 & W4).
- Daten, Fakten und Ergebnisse aus verschiedenen Quellen zum Thema "Einfluss des Menschen auf das Weltklima" bewerten und daraus Schlüsse ziehen.
- zum Thema Treibhauseffekt Vermutungen aufstellen (E2).
- den Treibhauseffekt experimentell darstellen (E3).
- die Daten und Ergebnisse eines Experiments zum Treibhauseffekt analysieren und interpretieren (E4).
- Tabellen und Graphen zu dem Thema bewerten und daraus Schlüsse ziehen (S1).

Zeit	5 E's	LehrerInnenaktivität	SchülerInnenaktivität
— 1. Stunde —			
5 min	Elicit	<i>Einleitung:</i> Rückblick auf Klimawandel auf anderen Planeten <i>Vorbereiten:</i> Planeten auf 3 Postern ausdrucken Post-its mit Begriffen <i>Überleitung:</i> Warum hat die Atmosphäre so einen großen Einfluss auf das Klima und wieso ist es auf der Venus so extrem heiß und auf der Erde nicht so kalt wie am Mars?	SuS sollen die Begriffe den Planeten zuordnen
15 min	Engage	<i>Einleitung:</i> Sehen wir uns mal an, was passiert, wenn die Strahlung der Sonne auf die Atmosphäre der Erde bzw. Venus trifft. Versuch absorbierende Wirkung von CO ₂ Aufbau: Lampe, 2 Thermometer, 2 Behälter (Luft und CO ₂) inkl. Wasser Frage: Was passiert, wenn man die beiden Behälter nun 10 Minuten mit dem Licht bestrahlt? Experiment "starten"	SuS sollen sich für einen möglichen Ausgang des Experiments entscheiden. Am Beginn: 2 SchülerInnen Temperatur messen lassen. Temp notieren. während Experiment läuft: Versuchsaufbau ins Heft skizzieren. Nach 10 min: 2 SchülerInnen Temperatur messen lassen. Temp notieren. nach dem Versuch: Resultat ins Heft schreiben

15 min	Explore	<p>Überleitung: Wir haben also gerade gesehen, dass jener Behälter, der mit CO₂ gefüllt war, sich schneller erwärmt hat. Nun wollen wir herausfinden, ob auch andere Gase einen Einfluss auf Strahlung unterschiedlicher Wellenlänge haben.</p> <p>Arbeitsblatt austeilten (siehe Appendix J4, S. 202)</p>	SuS sollen mittels PhET-App das Arbeitsblatt bearbeiten
15 min	Explain	<p>Überleitung: Jene Gase, die einen Effekt auf die IR-Strahlung haben, zählt man zu den Treibhausgasen. Das führt uns zu dem viel zitierten Treibhauseffekt. Wie der genau funktioniert, werdet ihr im folgenden Video erfahren.</p> <p>Video⁶ + Arbeitsblatt</p> <p>3 Teile (jeweils nach einem Teil Antworten besprechen):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Treibhausgase (2:09 min) - Treibhauseffekt (2:22 min) - Stärke Treibhausgase (0:50 min) 	<p>SuS sollen zunächst Fragen auf Arbeitsblatt lesen und versuchen diese zu beantworten. Dann wird Video (in 3 Teile geteilt) gezeigt. SuS sollen Arbeitsblatt vollständig ausfüllen.</p> <p>Ergebnisse werden im Plenum besprochen.</p>
— 2. Stunde —			
5 min	Elicit	<p>Letzte Stunde haben wir den Treibhauseffekt kennengelernt. Dieser Lückentext soll euch beim Erinnern helfen</p> <p>Lückentext austeilten</p>	<p>SuS sollen Lückentext ausfüllen</p> <p>Lückentext im Plenum besprechen</p>
5 min	Explain	Grafik zu “atmosphärisches Fenster” zeigen und mit SuS im L-S-Gespräch besprechen	
20 min	Elaborate 1	<p>Video “Treibhauseffekt und Ozonloch: Eine Gegenüberstellung” zeigen</p> <p>SuS fragen, was Video mit Frage 4⁷ von Arbeitsblatt der letzten Stunde zu tun hat?</p>	SuS sollen Arbeitsblatt zu dem Video bearbeiten
15 min	Elaborate 2	<p>Video⁴ noch 1-2 mal zeigen (Min 2:47 bis 5:20)</p> <p>SuS davor darauf aufmerksam machen, dass es Fehler in dem Video gibt</p> <p>Video nochmal ansehen</p>	SuS sollen Fehler im Video identifizieren zunächst in Kleingruppen, dann im Plenum diskutieren

⁶<https://www.youtube.com/watch?v=q1wP42f5GAc>, letzter Zugriff: 25.05.2020

⁷Welchen Einfluss könnte O₃ auf das in 3) beschriebene System (Atmosphäre bestehend aus N₂, O₂, CO₂ und H₂O) haben?

5 min	Evaluate	<i>In der ersten Stunde hab ich euch gefragt, warum gerade CO₂ so oft als Treibhausgas genannt wird. Seht euch eure Antwort an und verbessert sie gegebenenfalls</i>	SuS sollen Antwort überarbeiten Antworten im Plenum diskutieren
		<i>Und was hat das jetzt mit der heißen Venus zu tun?</i>	SuS sollen über Frage im Plenum diskutieren

Die überarbeitete zweite Einheit hat einen größeren Umfang als die ursprüngliche Form. Es wird daher empfohlen, diese Einheit auf zwei Unterrichtsstunden aufzuteilen. Geeignet wäre die Teilung nach dem Explain-Abschnitt.

Da im Text zur Venus das Wort “Treibhauseffekt” bereits erwähnt wird, kann damit leicht der Bogen von der Elicit-Phase zur zweiten Einheit gespannt werden. In der kurzen Elicit-Phase soll dabei gemeinsam nochmals auf die Unterschiede der klimatischen Bedingungen auf den Planeten eingegangen werden. Für die Wiederholung sollen drei Aspekte der Atmosphären besonders hervorgehoben werden: 1) ihre Dichte, 2) ihre Zusammensetzung und 3) die Temperatur. Zur besseren Veranschaulichung sollen Aufnahmen der drei Planeten möglichst maßstabsgetreu auf A3-Blätter gedruckt werden. Ausgewählte Schülerinnen und Schüler sollen dann die jeweiligen Fakten zu den erwähnten Aspekten [ad 1): extrem dicht, dicht, dünn; ad 2) CO₂ und wenig N₂, N₂ und O₂, CO₂ und wenig N₂; ad 3) heiß, angenehm, kalt] den Planeten zuordnen. Dafür werden vorbereitete Post-its o.Ä. verwendet, auf denen die Begriffe notiert sind. Gemeinsam mit den Schülerinnen und Schülern soll dann auf die Abschlussfrage der letzten Einheit eingegangen werden (Warum hat die Atmosphäre so einen großen Einfluss auf das Klima und wieso ist es auf der Venus so extrem heiß und auf der Erde nicht so kalt wie am Mars?). Dabei soll auf die Rolle des CO₂ in der Atmosphäre hingewiesen werden. Diese Diskussion soll als Überleitung zur überarbeiteten Engage-Phase dienen.

Als Versuch für die Engage-Phase soll nun die absorbierende Wirkung von CO₂ gezeigt werden. Dieses Experiment wird mit einem starken Strahler oder einer UV-Lampe und zwei verschlossenen, durchsichtigen Behältern (einer davon mit Luft (“Erdatmosphäre”), der andere mit CO₂ (“Venusatmosphäre”) gefüllt) durchgeführt. Ein möglicher Versuchsablauf wurde vom UBZ Steiermark erarbeitet⁸ und kann genau so umgesetzt werden, wobei der Aufbau und die beiden Behälter schon vor dem Beginn der Unterrichtsstunde fertig vorbereitet sein sollen. Es könnte zusätzlich in die Behälter noch etwas gefärbtes Wasser eingefüllt werden, welches die Ozeane bzw. die Erdoberfläche darstellen soll, und auch die Erwärmung des Wassers

⁸https://www.ubz-stmk.at/fileadmin/ubz/upload/Downloads/klima/Treibhauseffekt_mit_CO2.pdf, letzter Zugriff: 01.06.2020

gemessen werden. Nur Schritt 5 des UBZ-Experiments wird gemeinsam mit den Schülerinnen und Schülern durchgeführt. Gemeinsam soll mit den Schülerinnen und Schülern im Anschluss an das Experiment der Versuchsaufbau und die Erkenntnis, dass im Gefäß mit CO₂ die Temperatur schneller steigt, ins Heft skizziert werden. Die Gründe, dass dieser Versuch nun statt dem ursprünglichen Glasschüssel-Experiments an dieser Stelle durchgeführt wird, liegen einerseits in der besseren Möglichkeit von den Planeten auf den Treibhauseffekt überzuleiten und andererseits in der bekannten Problematik, dass das Glasschüssel-Experiment leicht bestehende Lernendenvorstellungen bestätigen könnte (Stichwort “Treibhausgasschicht”). Bereits am Anfang des Experiments soll darauf hingewiesen werden, dass das jeweilige Gefäß die gesamte Atmosphäre simulieren soll. Damit kann der “Treibhausgas-Schicht”-Lernendenvorstellung entgegnet werden. Das Experiment muss unbedingt im Vorhinein mehrere Male ausprobiert werden, damit etwaige Fehlerquellen, die zu einem irreführenden Ergebnis führen könnten, ausgeschlossen werden können. Am Ende des Experiments sollte noch kurz angesprochen werden, dass die Atmosphäre beim Mars zwar auch vorwiegend aus CO₂ besteht, diese aber so dünn ist, dass der Treibhauseffekt hier keinen großen Einfluss hat.

In der folgenden Explore-Phase soll das *Moleküle und Licht*-Applet des PhET-Projekts der University of Colorado verwendet werden⁹. Die Schülerinnen und Schüler sollen dabei in Einzel- bzw. in Gruppenarbeit (abhängig von der Anzahl der verfügbaren Computer oder Smartphones/Tablets) unter Zuhilfenahme des Applets ein kurzes Arbeitsblatt ausfüllen (siehe Appendix J4, S. 202). In diesem Applet wird Licht durch Photonen und nicht durch Wellen dargestellt. Im Zuge der siebten Klasse wird gemäß österreichischem Lehrplan die Wellen- und Teilchentheorie des Lichts thematisiert. Falls die Lehrperson dieses Themengebiet bereits vor den Einheiten zum Klimawandel mit den Schülerinnen und Schülern erarbeitet hat, sollte an dieser Stelle kurz nochmal auf den Wellen- und Teilchencharakter von Licht eingegangen werden. Wenn dieses Thema noch nicht im Unterricht angesprochen wurde, kann dieses Applet dennoch verwendet werden, jedoch mit dem Hinweis, dass Licht auch als Teilchen dargestellt werden kann und dass diese Eigenschaft des Lichts später im Schuljahr noch einmal näher untersucht wird.

Als Überleitung zur anschließenden Explain-Phase mit dem Video wird das Wort Treibhauseffekt und Treibhausgase verwendet. Was genau der Treibhauseffekt ist, soll durch das Video erläutert werden. Die Fragen auf dem dafür erstellten Arbeitsblatt habe ich überarbeitet und kompetenzorientiert umformuliert (siehe Appendix J2, S. 200).

⁹https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light_de.html, letzter Zugriff: 09.06.2020

Im Anschluss an das Video und das Arbeitsblatt soll vor allem noch einmal auf die unterschiedlichen Strahlungsarten eingegangen werden. Auch die Begriffe Absorption, Reflexion und Emission sollten kurz angesprochen werden, da sie im Video nicht immer korrekt verwendet werden. Dabei sollen die Grenzen der Darstellung des Treibhauseffekts im Video besprochen werden. Eine genauere Auseinandersetzung mit den Fehlern im Video erfolgt in der nächsten Stunde in der zweiten Elaborate-Phase.

Die zweite Stunde zum Thema Treibhauseffekt sollte mit einer Wiederholung beginnen, in der nochmals die wichtigsten physikalischen Grundlagen des Treibhauseffekts besprochen werden. Dafür würde sich ein Lückentext anbieten (siehe Appendix J3, S. 201), da die Schülerinnen und Schüler sich so nicht nur mit den Begriffen neuerlich auseinandersetzen müssen, sondern sie gleichzeitig auch eine gute Zusammenfassung in Händen halten, die ihnen das Wiederholen für einen möglichen Test erleichtern soll. Dieser Lückentext kann auch als Werkzeug in einer möglichen Evaluate-Phase eingesetzt werden. Als mögliche Alternative zu dem Lückentext kann man die Schülerinnen und Schüler auch um eine schriftliche Erklärung des Treibhauseffekts bitten, indem sie eine grafische Darstellung des Effekts vervollständigen. Als Vorlage für so eine Grafik kann z.B. Abb. 2.4 (S. 8) dienen, wobei diese vereinfacht (ohne Begriffe wie Verdunstung oder latente Wärme) und die Treibhausgase extra gleichmäßig verteilt in der Grafik schematisch dargestellt werden sollten (z.B. als kleine Punkte).

Ergänzend zu dem Lückentext sollte in der anschließenden Explain-Phase der Begriff "atmosphärische Fenster" angesprochen werden. Die Begriffserklärung und die dazu passende Abbildung findet sich im Abschnitt 2.1.2 (S. 7). Mit besonders interessierten Klassen kann auch noch auf den Begriff "Gleichgewichtszustand" und dessen Bedeutung für den Strahlungshaushalt der Erde eingegangen werden. Um den Begriff "Gleichgewichtszustand" den Schülerinnen und Schülern besser begreifbar zu machen, kann der Vergleich von einem mit Wasser gefüllten Becken hergenommen werden. Dort bleibt der Pegelstand nur dann konstant, wenn sich die Zu- und Abflüsse die Waage halten.

In der folgenden ersten Elaborate-Phase würde ich statt der Interpretation von Grafiken an dieser Stelle aufgrund der, wie sich gezeigt hat, doch sehr prominenten Lernendenvorstellung auf das Thema Treibhauseffekt und Ozonloch eingehen (siehe Abschnitt 7.1). Dafür könnte man ein weiteres Video zeigen (z.B. "Treibhauseffekt und Ozonloch: Eine Gegenüberstellung", abrufbar nach kostenloser Anmeldung auf der Internetseite von *Lehrer-online*¹⁰) und im Anschluss ein Arbeitsblatt bearbeiten lassen (siehe Appendix J5, S. 203). Weiters sollte man an dieser Stelle nochmal

¹⁰<https://www.lehrer-online.de/arbeitsmaterial/am/treibhauseffekt-und-ozonloch-eine-gegenueberstellung/>, letzter Zugriff: 16.02.2020

auf das eingehen, was die Schülerinnen und Schüler beim Arbeitsblatt zum Phet-Applet (siehe Appendix J4, S. 202) bei der vierten Frage notiert haben und diese Information mit jener aus dem Video vergleichen.

In der zweiten Elaborate-Phase soll noch einmal das Video zum Treibhauseffekt aus der ersten Stunde angesehen werden (kürzerer Videoabschnitt, Minute 2:47 bis 5:20). Dabei soll den Schülerinnen und Schülern im Vorhinein gesagt werden, dass es einige Fehler bzw. irreführende Darstellung gibt. Die Aufgabe besteht nun darin, diese Fehler zu finden. Der Videoausschnitt soll zweimal abgespielt werden, dann sollen die Schülerinnen und Schülern in Kleingruppen diskutieren. Im Anschluss sollen die möglichen Fehler im Plenum besprochen und auf der Tafel notiert werden. Schließlich soll das Video noch einmal abgespielt werden, damit alle die Fehler auch bewusst erkennen können. Der erste Fehler besteht darin, dass eine "Treibhausgas-Schicht" dargestellt wird, wo sich die Moleküle doch über weite Teile der Atmosphäre verteilen (Vergleich dazu Engage-Versuch). Die zweite Fehlinformation, die aus der Animation herauslesbar wäre, ist, dass der Treibhauseffekt dadurch verstärkt wird, dass die Dichte/Dicke der Atmosphäre signifikant größer wird durch die Anreicherung von anthropogenen Treibhausgasen (nochmals auf den relativ gesehen kleinen Anteil der Treibhausgase in der Atmosphäre hinweisen). Im Video wird behauptet, dass die Sonne nur UV-Strahlung aussendet – in Wirklichkeit deckt die Sonnenstrahlung ein breites Spektrum von harter Röntgenstrahlung bis zu langen Radiowellen ab (mit einigen Lücken, den Fraunhoferlinien). Als möglichen Fehler kann man auch die farbige Darstellung der Strahlungsarten sehen. Im Video wird UV-Strahlung rot und IR-Strahlung blau dargestellt – genau die gegenteilige Zuordnung wäre intuitiver. Ein bereits angesprochener Fehler unterlief den Machern des Videos auch bei der Verwendung des Wortes "reflektieren". Jene elektromagnetische Strahlung, die die Atmosphäre durchdringen kann, wird nicht an der Oberfläche als IR-Strahlung reflektiert, sondern vielmehr wird die Strahlung absorbiert, woraufhin sich die Erdoberfläche erwärmt und IR-Strahlung re-emittiert. Ein ganz schwerwiegender Fehler ist bei Minute 5:08 zu hören. Hier wird erklärt, dass die Glashülle eines Treibhauses als Analogon zur Ozonschicht(!) dafür verantwortlich ist, die IR-Strahlung wieder zurück zur Erdoberfläche zu reflektieren.

Zum Abschluss dieses Themenblocks sollte noch einmal auf die Frage aus der ersten Einheit eingegangen werden, warum CO₂ so oft in der Klimawandeldebatte vorkommt. Die Schülerinnen und Schüler sollen zunächst alleine über ihre damals gegebene Antwort nachdenken und sie, falls nötig, überarbeiten. Diese Antwort soll dann weiter in Flüstergruppen und dann zum Schluss im Plenum besprochen werden. Als letztes soll die Frage geklärt werden, warum es auf der Venus so extrem heiß und auf der Erde nicht so kalt wie am Mars ist.

7.2.3 Dritte Einheit

Tab. 7.3. Überarbeitete Stundenplanung der dritten Einheit

Key Idea/s, die angesprochen wird/werden:			
<ul style="list-style-type: none"> - Änderungen des Klimas können weitreichende Folgen für das Ökosystem haben. - Der Klimawandel zeigt sich nicht nur durch globale Erwärmung, sondern auch durch häufiger auftretende und extreme Naturkatastrophen. - Das Klima der Erde hat sich bereits in der Vergangenheit oft geändert. Der anthropogene Klimawandel verläuft jedoch um ein Vielfaches schneller als der natürliche (Ausnahme: Naturkatastrophen wie Meteoriteneinschlag, Vulkanausbruch, etc.). - Wetter ist der lokale, temporäre Zustand der Atmosphäre, wohingegen das Klima eine statistische Beschreibung einer größeren Atmosphärenregion über viele Jahre darstellt. - Das Klima kann langfristig, das Wetter jedoch nur sehr kurzfristig prognostiziert werden. 			
Lernendenvorstellungen:			
<ul style="list-style-type: none"> - Der Klimawandel ist nur eine Erfindung der Medien bzw. der Politik. - Der Mensch kann sich schnell an alle klimatischen Veränderungen anpassen. - Die Auswirkungen des Klimawandels sind überwiegend positiv. - Verwechslung von Wetter und Klima. 			
Feinziel/e (Kompetenzen): Ich kann...			
<ul style="list-style-type: none"> - beschreiben, welche lokalen (Österreich) und globalen Einflüsse der Klimawandel auf die Menschheit und die Natur hat (W1). - dazu aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen (W2). - aus Grafiken die Auswirkungen des Klimawandels erklären (W3). - die Auswirkungen des Klimawandels erfassen und beschreiben (W4). - die Auswirkungen des Schmelzens der Polkappen auf den Meeresspiegel erfassen und beschreiben (W4). - aus Daten Schlüsse über die Auswirkungen des Klimawandels ziehen (S1). - die Bedeutung des Klimawandels erkennen (S2). - über das Thema fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren (S4). - ich kann anhand eines Experiments analysieren, wie sich das Schmelzen der Polkappen auf den Meeresspiegel auswirken würde (E4). 			
Zeit	5 E's	LehrerInnenaktivität	SchülerInnenaktivität
10 min	Engage	<p>Blick auf Word Cloud und was heute am Plan steht.</p> <p>Versuch "Anstieg des Meeresspiegels"</p> <p>Aufbau:</p> <p>2 große Glasschüsseln, Steine, Eisbär und Pinguin, kleine Häuser, farbiges Klebeband, Wasser, Eisblöcke (mit Tinte gefärbt)</p> <p>Frage: Die erste Schüssel repräsentiert den Nord-, die zweite den Südpol. Wenn das Eis auf den Polen schmilzt, was passiert mit dem Eisbären, was mit dem Pinguin und bei beiden Szenarien mit den Häusern? Experiment "starten" (läuft die ganze Stunde, anfänglichen Wasserstand mit Klebeband markieren)</p>	<p>SuS sollen sich um Versuchsaufbau herum aufstellen und im L-S-Gespräch wird auf Unterschied zw. Arktis und Antarktis eingegangen.</p> <p>SuS sollen in 4-5er-Gruppen zusammengehen (1-5 durchzählen!) und sich auf ein Ergebnis pro Pol einigen. Resultat wird auf Zettel geschrieben, in ein Kuvert gegeben und neben die jeweilige Schüssel gelegt.</p>

25 min	Explore	<p><i>Überleitung: Nun werden wir in einem Stationenbetrieb weitere Folgen der Klimaerwärmung ermitteln.</i></p> <p>Stationenbetrieb- pro Station 5 min (ablaufende Zeit wird mittels Beamer projiziert)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Arbeitsblatt "Temperatur & Niederschlag" 2. Auswirkungen des Klimawandels und du 3. Insellösung 4. Klimawandel und Tourismus in Österreich 5. Spielestation (optional) 	SuS sollen in 4-5er Gruppen die Stationen bearbeiten.
5 min	Explain	Im L-S-Gespräch Unterschied zwischen Wetter und Klima besprechen	SuS sollen Tabelle (siehe Tab. 7.4) dazu ins Heft übertragen
10 min	Evaluate	<p>Ausgang des Experiments "Anstieg des Meeresspiegels" diskutieren und öffnen der Kuverts um Voraussagen zu bewerten</p> <p>Hausaufgabe: Vorstellung CO₂ Rechner (http://www.co2-rechner.at)</p>	<p>SuS sollen sich wieder um Versuchsaufbau herum aufstellen, 1 SchülerIn wird ausgewählt, die beschreibt, wie sich Wasserstand verändert hat.</p> <p>SuS sollen bis nächstes Mal den CO₂-Rechner Fragebogen bearbeiten und ihre Werte (Wohnen, Konsum, Mobilität) in Online-Liste eintragen.</p>

Im umgestalteten Unterrichtskonzept entfällt in dieser Einheit die ursprünglich geplante Elicit-Phase, da die schriftliche Versuchsbeschreibung bereits in der vorigen Einheit erfolgte. Es kann also gleich mit dem Engage-Versuch (Anstieg des Meeresspiegels) begonnen werden. Bei diesem Versuch sollte auch ausführlich auf die unterschiedlichen Gründe des Meeresspiegelanstiegs eingegangen werden (siehe dafür Abschnitt 2.1.3, S. 12). Dabei soll unbedingt darauf geachtet werden, dass die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass das Abschmelzen der Arktis einen relativ gesehen eher geringen Anteil am Anstieg des Meeresspiegels hat. Das Betonen dieses Fakts ist insofern wichtig, als es eine bekannte Lernendenvorstellung darstellt, die auf einer emotionalen Ebene mit den gefährdeten Eisbären verknüpft wird [Niebert, 2008]. Der in dieser Einheit vorgestellte Versuch könnte noch, wie von der Mentorin vorgeschlagen, mit der vorigen Einheit verknüpft werden, indem man einen weiteren Pol inkl. Treibhauseffekt simuliert (einfach eine Glasschüssel über die dritte Schüssel stülpen). Zusätzlich könnte man den ganzen Versuchsaufbau in die Sonne stellen um so den Effekt zu verstärken. Allerdings könnte dieser Versuchsaufbau die Lernendenvorstellung einer "Treibhausschicht" festigen. Die Idee, die Schülerinnen

und Schüler Voraussagen zu dem Experiment niederschreiben zu lassen, halte ich immer noch für gut, allerdings sollten die Thesen der Schülerinnen und Schüler unbedingt am Ende der Einheit diskutiert werden.

Beim Stationenbetrieb würde ich bei der Station 3 die Frage 1) (“Skizziert den pazifischen Ozean und zeichnet den Inselstaat Kiribati ein”) und 4) (“Recherchiert, in welchem Zusammenhang Sigeo Alesana und seine Familie zu dem Thema steht”) aufgrund von zu hohem Zeitaufwand weglassen und Frage 2) (“Ermittelt, wann Kiribati gemäß Vorhersagen vollständig unter Wasser liegen könnte.”) als optional angeben. Ebenso könnte man bei Station 1 die Fragen 2-4 (“In welchem Bundesland und in welcher Jahreszeit nehmen die Niederschläge am meisten 2) zu, 3) ab bzw. 4) die Temperatur am meisten zu?”) als optional angeben. Zusätzlich würde ich eine fünfte Station hinzufügen (Spielestation), die als Ausweichstation dienen soll, falls eine Gruppe schneller mit einer Station fertig wird.

Im Anschluss an den Stationenbetrieb sollte man kurz das Thema “Klima vs. Wetter” ansprechen¹¹. Beim Stationenbetrieb werden die unterschiedlichen Auswirkungen des Klimawandels besprochen, wobei vorwiegend Wetterphänomene thematisiert werden (hohe Temperatur, extremer Niederschlag, etc.). Daher sollte an dieser Stelle auf den Unterschied zwischen Wetter und Klima eingegangen werden, um einer möglichen synonymen Verwendung entgegenwirken. Dafür könnte eine kleine Tabelle wie Tab. 7.4 ins Heft übertragen werden.

Tab. 7.4. Gegenüberstellung von Wetter und Klima.

Wetter	Klima
lokal	über weite Teile der Erde
momentan	über viele Jahrzehnte
kann sich innerhalb von Minuten/Stunden ändern	verändert sich über Jahrzehnte bis Jahrtausende
Was man unmittelbar misst	Was man über Statistiken ermittelt
Meteorologie	Klimatologie

Aufgrund von Zeitmangel konnte in der gehaltenen Stunde nicht in Ruhe auf die Aufgabenstellung der Hausaufgabe (CO₂-Rechner) eingegangen werden. Darauf sollte bei einer zukünftigen Umsetzung des hier vorliegenden Unterrichtskonzepts mehr Wert gelegt werden. Die hier gesammelten Daten sind wichtig für die Engage-Phase der anschließenden Einheit.

¹¹Die *key idea* “Wetter ist der lokale, temporäre Zustand der Atmosphäre, wohingegen das Klima eine statistische Beschreibung über viele Jahre einer größeren Atmosphärenregion darstellt” wird von der ersten Einheit in diese Einheit verschoben.

7.2.4 Vierte Einheit

Tab. 7.5. Überarbeitete Stundenplanung der vierten Einheit

Key Idea/s, die angesprochen wird/werden:			
<ul style="list-style-type: none"> - Der Klimawandel zeigt sich nicht nur durch globale Erwärmung, sondern auch durch häufiger auftretende und extremere Naturkatastrophen. - Der anthropogene (bzw. zusätzliche) Klimawandel beruht vorwiegend auf dem steigenden Prozentsatz an (zusätzlichen) Treibhausgasen in der Erdatmosphäre (anthropogener Treibhauseffekt) durch Eingriffe in die Natur durch den Menschen (Abholzung, Flächenversiegelung, Landwirtschaft, Verkehr, Industrie, etc.). - Die bekanntesten Treibhausgase sind Wasserdampf, CO₂, CH₄, N₂O, und FCKW. 			
Lernendenvorstellungen:			
<ul style="list-style-type: none"> - Der Klimawandel ist nur eine Erfindung der Medien bzw. der Politik. - Der momentane Klimawandel ist ein wiederkehrendes Phänomen bzw. Teil eines natürlichen Zyklus. - Der Mensch kann sich schnell an alle klimatischen Veränderungen anpassen. - Der Klimawandel ist nicht mehr aufzuhalten. - Eine einzelne Person kann nichts bewirken. - Die Auswirkungen des Klimawandels sind überwiegend positiv. 			
Feinziel/e (Kompetenzen): Ich kann...			
<ul style="list-style-type: none"> - aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen, welche Maßnahmen gegen den Klimawandel gesetzt werden können, was ich selber dazu beisteuern kann (W2). - beschreiben, welche Maßnahmen gegen den Klimawandel gesetzt werden können (W4). - aus Daten Schlüsse über Maßnahmen gegen den Klimawandel ziehen (S1). - fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren, welche Schritte für das Eindämmen des Klimawandels nötig wären (S4). - neue Informationen zu dem Thema in einem Referat kurz und prägnant darstellen und kommunizieren (W3). 			
Zeit	5 E's	LehrerInnenaktivität	SchülerInnenaktivität
10 min	Engage	CO ₂ -Rechner (HÜ) Ergebnisse als Boxplots vorbereiten und präsentieren Überleitung: Welche Maßnahmen können nun wirklich gesetzt werden?	SuS sollen Erfahrung mit CO ₂ -Rechner beschreiben: - Ist so eine Onlineumfrage sinnvoll bzw. glaubwürdig? - Was macht deiner Meinung den größten Teil deines CO ₂ -Fußabdrucks aus? - Wie könntest du deinen CO ₂ -Ausstoß verkleinern?

25 min	Elaborate	Profil-Artikel bereitstellen Wortlisten bereitstellen (Worte, die unbedingt im Referat vorkommen/erklärt werden müssen) Themen: 1. Konsum 2. Verkehr 3. Ernährung 4. Internet & Smartphones 5. Abfall 6. Kyoto-Protokoll & Pariser Übereinkommen	SuS sollen in 2-3er Gruppen jeweils ein Thema bearbeiten. Material: Profil-Artikel (Ausschnitte) und Wortliste + Internetrecherche 3 Leitfragen: - Was bewirkt die erhöhte CO ₂ -Emission? - Welche Maßnahmen werden von Politik & Industrie gesetzt? - Wie kann ich selbst zum Klimaschutz beitragen? Ziel: 1min-Referat am Schluss halten können (jedeR muss vortragen)
10 min	Evaluate		SuS sollen in Blitz-Referaten (genau 1 min) ihr Thema vorstellen
5 min	Extend	Hausaufgabe: Fake news suchen und analysieren! (Bsp. angeben)	SuS sollen bis zur nächsten Einheit Fake News (Twitter, Homepages, YouTube videos, etc.) suchen (zu zweit eins) und auf A4 Blatt schreiben (inkl. Quellenangabe)

Diese Einheit sollte mit der Präsentation der Schülerinnen und Schüler-Werte des CO₂-Rechners eingeleitet werden. Diese Engage-Phase beginnt also de facto schon vor der tatsächlichen Schulstunde. Die Idee dieser Engage-Phase ist es, dass die Schülerinnen und Schüler einen ersten Einblick bekommen inwiefern und in welchen Bereichen sie selbst zum Klimaschutz beitragen können. Dies soll dann in der folgenden Elaborate-Phase weiter vertieft werden. Das am Ende der Elaborate-Phase angedachte Blitz-Referat jeder Gruppe ist eine sehr effektive Lehr- und Lernmethode, jedoch benötigt sie ein gewisses Maß an Übung. Sollte man diese Methode also zum ersten Mal einsetzen, müsste man den Schülerinnen und Schülern noch ein paar Tipps davor geben (z.B. jede Schülerin bzw. jeder Schüler pro Gruppe bekommt gleiche Redezeit, jede Schülerin bzw. jeder Schüler soll eine Frage bearbeiten und beantworten, auf das Wesentliche konzentrieren, etc.). Die Verwendung der Wortlisten als auch das Eingehen auf die drei Leitfragen hat die Schülerinnen und Schüler bei der gehaltenen Einheit sichtlich überfordert. Ich würde daher vorschlagen, dass die Lehrperson maximal ein oder zwei Worte pro Themengebiet aus den Wortlisten (oder nach eigener Überlegung) wählt, die auch wirklich in dem Blitzreferat vorkommen müssen. Die Leitfragen könnte man dann unverändert belassen. Auch hier sollte man am Ende der Einheit allen Schülerinnen und Schülern alle Unterlagen zum weiteren Informationsgewinn zur Verfügung stellen. Während der Blitzreferate sollte die Lehrperson darauf achten, dass die Schülerinnen und Schüler sich gegenseitig zuhören und nicht weiter an den Präsentationen gearbeitet wird. Die Reihenfolge der Referate könnte durch Losen entschieden werden. Ob man am Ende der Stunde

den Schülerinnen und Schülern die Hausaufgabe stellt nach Fake News zu suchen, liegt wieder daran, ob Hausaufgaben üblich sind oder nicht.

7.2.5 Fünfte Einheit

Tab. 7.6. Überarbeitete Stundenplanung der fünften Einheit

Key Idea/s, die angesprochen wird/werden:			
<ul style="list-style-type: none"> - Der Klimawandel zeigt sich nicht nur durch globale Erwärmung, sondern auch durch häufiger auftretende und extreme Naturkatastrophen. - Der anthropogene (bzw. zusätzliche) Klimawandel beruht vorwiegend auf dem steigenden Prozentsatz an (zusätzlichen) Treibhausgasen in der Erdatmosphäre (anthropogener Treibhauseffekt) durch Eingriffe in die Natur durch den Menschen (Abholzung, Flächenversiegelung, Landwirtschaft, Verkehr, Industrie, etc.). 			
Lernendenvorstellungen:			
<ul style="list-style-type: none"> - Der Klimawandel ist nur eine Erfindung der Medien bzw. der Politik. - Der momentane Klimawandel ist ein wiederkehrendes Phänomen bzw. Teil eines natürlichen Zyklus. - Der Mensch kann sich schnell an alle klimatischen Veränderungen anpassen. - Der Klimawandel ist nicht mehr aufzuhalten. - Eine einzelne Person kann nichts bewirken. - Die Auswirkungen des Klimawandels sind überwiegend positiv. 			
Feinziel/e (Kompetenzen): Ich kann...			
<ul style="list-style-type: none"> - Berichte in den (sozialen) Medien bewerten und Schlüsse daraus ziehen (S1). - Argumente der Klimawandel-Skeptiker prüfen und gegebenenfalls falsifizieren (S4). 			
Zeit	5 E's	LehrerInnenaktivität	SchülerInnenaktivität
15 min	Elaborate/ Evaluate	Backup: mind. 5 zusätzliche Fake-News vorbereiten	SuS stellen Fake-News vor (zunächst in Kleingruppen, dann im Plenum) Anschließend jedes Mal kurze Diskussion dazu im Plenum.
30 min	Extend	SuS in 2 Gruppen einteilen jede Gruppe bekommt einen Artikel, der als Grundlage für Argumentation dienen soll Regeln erklären (immer nur einer spricht pro Gruppe und pro Runde, ausreden lassen, nächsteR SprecherIn wird von VorgängerIn ausgesucht, etc.)	Artikeln sollen in den Gruppen gelesen werden (5-10min) in den Gruppen gemeinsam Argumente sammeln(10-15min) im Anschluss: Ping-Pong-Diskussion: 2 Gruppen (Klimawandelbekämpfer gegen Klimawandelskeptiker) (ca. 10min)
5 min	Backup	Falls Zeit...	SuS sollen schriftliches Feedback geben, welche Informationen für sie neu waren bzw. sie überrascht haben und ob sich ihre Sichtweise zu dem Thema geändert hat.

In der im Abschnitt 4.6 vorgestellten Fassung wurde die Einheit mit einem Test begonnen. Dieser Einstieg war den Rahmenbedingungen durch das FAP geschuldet.

Um dem Thema dieser Einheit mehr Gewicht zu verleihen, sollte der Test natürlich erst nach der letzten Einheit stattfinden und auch zumindest eine Frage dazu enthalten. Im Folgenden soll die Umgestaltung der fünften Einheit ohne dem Abhalten eines Tests erläutert werden.

Als Engage-Phase würde ich entweder die Schülerinnen und Schüler bitten, ihre gefundenen Fake News vorzustellen und dann zu erklären, was dabei falsch wäre, oder, falls man sich gegen diese Hausaufgabe entschieden hat, selbst zwei bis drei Fake News vorstellen, die zunächst in einer Flüsterphase und dann im Plenum diskutiert werden sollen. Die Ping-Pong-Diskussion würde ich beibehalten, allerdings die Vorbereitung dafür umgestalten. Ich würde für die Gruppe der Klimawandelleugner einen Artikel (bzw. Teile davon) des selbsternannten Instituts EIKE (siehe Abschnitt 2.2, S. 27) zur Verfügung stellen (z.B. den Artikel "Klimawandel – heute das beste Klima seit über 700 Jahren!"¹²), der als Basis für deren Argumentationen dienen soll. Der anderen Gruppe hingegen würde ich jenen Spiegel-Artikel ("Die Welt wird grüner"¹³ geben, auf den sich der eben genannte EIKE-Artikel zwar beruft, von dem aber nur jene Teile verwendet wurden, die mit der Gesinnung dieses Vereins übereinstimmen. Damit würde die Diskussion auf einen Themenbereich eingrenzt werden und zugleich hätten die Schülerinnen und Schüler eine Informationsquelle zur Verfügung. Beides sollte die Durchführung der Diskussion positiv beeinflussen.

Falls noch Zeit bleibt, könnte man zum Abschluss des Themenkomplexes "Klimawandel" noch die Schülerinnen und Schüler um eine kurze schriftliche Stellungnahme bitten, in der sie beschreiben, welche Informationen für sie neu waren bzw. sie überrascht haben und ob sich ihre Sichtweise zu dem Thema geändert hat.

7.2.6 Alternative Ideen zur Unterrichtsgestaltung einzelner Einheiten

Im Folgenden möchte ich ein paar Ideen auflisten, die mir als Ergänzungen zu dem in dieser Arbeit beschriebenen Unterrichtskonzept noch eingefallen sind bzw. die ich in der Literatur gefunden habe. Diese Vorschläge können einzelne Themenblöcke im Konzept ersetzen, können bei einer weiteren Vertiefung zu der Thematik eingesetzt werden, oder können als Themen für Lernenden-Projekte dienen. Im Appendix L (siehe S. 205ff) werden weitere alternative thematische Blöcke wie etwa erneuerbare Energien oder E-Mobilität beschrieben, die in ergänzenden Einheiten eingesetzt werden könnten.

¹²<https://www.eike-klima-energie.eu/2020/02/08/klimawandel-heute-das-beste-klima-seit-ueber-700-jahren/>, letzter Zugriff: 17.02.2020

¹³<https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/co2-macht-die-welt-gruener-a-1089850.html>, letzter Zugriff: 17.02.2020

▷ zu key idea: *Durch positive Rückkopplungen (Feedbackschleife), also sich gegenseitig verstärkenden Effekten, kann es zu einem “galoppierenden Treibhauseffekt” kommen, der sich bis zur Verdampfung von allem flüssigen Wasser selbst verstärken könnte (Bsp. Venus).*

In der ersten Einheit werden die Rückkopplungsmechanismen im Zusammenhang mit der massiven Veränderung des Klimas auf der Venus und am Mars nicht wirklich angesprochen. Dieses Themengebiet könnte jedoch im Unterricht (im Zuge der ersten und/oder zweiten Einheit) vertieft werden, da man so besser die Notwendigkeit von klimaschützenden Handlungen erarbeiten kann (Gefahr des Übertreten eines Kipppunktes). Weiters kann dabei die Komplexität des Klimasystems aufgezeigt werden: So bewirkt etwa der Anstieg an CO₂ einen stärkeren Treibhauseffekt, jedoch auch ein stärkeres Pflanzenwachstum, wodurch wiederum mehr CO₂ aufgenommen wird. Genauso führt die Erderwärmung zu einer Erhöhung des Wasserdampfanteils (Treibhausgas!) in der Atmosphäre, jedoch bewirkt diese Verdunstung auch gleichzeitig eine Abkühlung der Luft. Die in diesem Zusammenhang wohl bekanntesten Rückkopplungen sind die bereits in Abschnitt 2.1.3 besprochene *Eisalbedo-Temperatur-Rückkopplung* (siehe S. 13) und die *Taiga-Tundra-Rückkopplung*. Das *Bildungswiki Klimawandel* (ein Kooperationsprojekt zwischen dem *Deutschen Bildungsserver*, dem *Climate Service Center* und dem *Hamburger Bildungsserver*) stellt eine gut aufbereitete Sammlung der Kipppunkte im Klimasystem zu Verfügung¹⁴. Diese Sammlung kann als Ausgangspunkt für Kurzreferate der Schülerinnen und Schüler genommen werden, wobei jede Kleingruppe einen Kipppunkt vorstellen soll. Dabei sollen sie auch erörtern, inwiefern wir ihrer Meinung nach Gefahr laufen, den behandelten Kipppunkt in naher Zukunft zu überschreiten. Dadurch könnte in der ersten Einheit zusätzlich die W3-Kompetenz (in Referaten Kipppunkte erklären) und in gewissem Maße auch die S2-Kompetenz (erkennen, welche Auswirkung das Überschreiten eines Kipppunktes hätte) adressiert werden.

▷ zu key idea: *Der anthropogene Klimawandel beruht vorwiegend auf dem steigenden Prozentsatz an Treibhausgasen in der Erdatmosphäre (anthropogener Treibhauseffekt) und Eingriffen in die Natur durch den Menschen (Abholzung, Flächenversiegelung, Landwirtschaft, techn. Entwicklungen, etc.).*

Das Online-Tool En-ROADS¹⁵ von Climate Interactive bietet einen einfach zu bedienenden Simulator, der die Auswirkungen der Maßnahmen zur Reduktion von Kohlenstoffemissionen global auf die Prognosen zur Klimaerwärmung vorhersagt. Die Verwendung dieses Simulators kann den Schülerinnen und Schülern zeigen, wie stark sich welche Maßnahme auswirken würde. Eine weitere, wenn auch simple Umsetzung eines Treibhauseffekts-Simulator wird im Zuge des PhET-Projekts der

¹⁴https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kipppunkte_im_Klimasystem, letzter Zugriff: 31.05.2020

¹⁵<https://www.climateinteractive.org/tools/en-roads/>, letzter Zugriff: 24.04.2020

University of Colorado online zur Verfügung gestellt¹⁶. Diese Simulationsprogramme eignen sich hervorragend zur Stärkung der gesamten Palette an E-Kompetenzen (siehe Abb. 4.1, S. 43) und könnten in der dritten Einheit als Elaborate-Phase eingesetzt werden.

▷ zu key idea: *Das Klima der Erde hat sich bereits in der Vergangenheit oft geändert. Der anthropogene Klimawandel verläuft jedoch um ein Vielfaches schneller als der natürliche (Ausnahme: Naturkatastrophen wie Meteoriteneinschlag, Vulkanausbruch, etc.).*

Über die Seite <https://faketrumptweet.com/> (letzter Zugriff: 18.02.2020) kann man ganz leicht eigene Fake News-Bilder im Stile von Donald Trumps Twitter-Account erstellen. Hier könnten die Schülerinnen und Schüler eigene Tweets erstellen und diese werden dann mit echten Tweets von Trump zum Thema Klimawandel vermischt. Die Schülerinnen und Schüler sollen dann entscheiden, welche echt und welche von anderen Schülerinnen und Schülern erfunden wurden. Diese Übung würde sich als Alternative zur Ping-Pong-Diskussion in der fünften Stunde anbieten. Hier müssen die Schülerinnen und Schüler nicht nur S1- und S4-Kompetenzen aufbringen, sondern auch W-Kompetenzen anwenden (siehe Abb. 4.1, S. 43), damit die Mitschülerinnen und Mitschüler ihre Tweets nicht sofort als “Fake” enttarnen.

▷ zu key idea: *Das Klima der Erde hat sich bereits in der Vergangenheit oft geändert. Der anthropogene Klimawandel verläuft jedoch um ein Vielfaches schneller als der natürliche (Ausnahme: Naturkatastrophen wie Meteoriteneinschlag, Vulkanausbruch, etc.).*

Der Wissenschafts-Weblog *Skeptical Science* hat eine Liste der häufigsten Argumente von Klimawandelleugnern veröffentlicht [Skeptical Science, 2010]. Eine Kurzfassung dieser Liste kann Abb. 7.3 entnommen werden. Der Klimatologe Stefan Rahmstorf hat, in einem Kommentar zur Veröffentlichung des Klima-Manifest der WerteUnion, diese Liste als Vorlage für ein Klimamythen-Bingo verwendet [Rahmstorf, 2020]. Diese Idee kann man gut auch im Unterricht aufgreifen. Den Schülerinnen und Schülern könnte dann eine gekürzte Version dieser Liste zusammen mit mehreren Texten von Klimawandelleugner ausgehändigt werden, wobei sie dann die jeweiligen verwendeten Argumente identifizieren müssen. Im nächsten Schritt müssen die Schülerinnen und Schüler diese Argumente dann basierend auf wissenschaftlichen Beweisen widerlegen. Dieses Klimamythen-Bingo könnte ebenso alternativ zur Ping-Pong-Diskussion in der fünften Einheit eingesetzt werden. Es adressiert speziell die S1- und S4-Kompetenz (siehe Abb. 4.1, S. 43). Aufgrund der ständigen Präsenz des Themas Klimawandel in der heutigen Gesellschaft und der vielen (Falsch-)Informationen darüber, sollte gerade der Aufbau bzw. der Einsatz der S4-Kompetenz besonders gefördert werden.

¹⁶<https://phet.colorado.edu/de/simulation/legacy/greenhouse>, letzter Zugriff: 01.06.2020

Skeptical Science Myth Rebuttals Online

http://sks.to/keyword Use "http://sks.to/" plus the keyword listed in the table to access the complete rebuttal on SkepticalScience.com

#1 sun	#2 past	#3 consensus	#4 cooling	#5 model	#6 temp	#7 1998	#8 1970s	#9 iceage	#10 antarctica
#11 lag	#12 impacts	#13 gore	#14 cosmic	#15 cold	#16 hurricane	#17 1934	#18 hockey	#19 mars	#20 ulhi
#21 1500cycle	#22 arcticcycle	#23 sealevel	#24 vapor	#25 planets	#26 green	#27 oceanheat	#28 climategate	#29 co2	#30 sensitivity
#31 greenhouse	#32 lia	#33 midcentury	#34 glacier	#35 pre1940	#36 evidence	#37 bear	#38 troposphere	#39 kilimanjaro	#40 underestimat
#41 extreme	#42 pollutant	#43 correlate	#44 greenland	#45 pastco2	#46 weather	#47 hotspot	#48 neptune	#49 jupiter	#50 pdo
#51 saturate	#52 pluto	#53 icecollapse	#54 volcano	#55 species	#56 wmp	#57 co2data	#58 ocean	#59 elnino	#60 arctic
#61 schulte	#62 dropped	#63 slc	#64 aerosols	#65 microsilte	#66 residence	#67 shift	#68 thermo	#69 significant	#70 warming
#71 falsify	#72 landuse	#73 settled	#74 winter	#75 methane	#76 500	#77 decline	#78 himalaya	#79 acid	#80 seapredict
#81 oreskes	#82 1995	#83 icemelt	#84 oceanco2	#85 agw	#86 co2up	#87 albedo	#88 snowfall	#89 hansen1988	#90 lindzenchoi
#91 acrim	#92 solarcycle	#93 spring	#94 oism	#95 watersun	#96 amazon	#97 chaos	#98 stratosphere	#99 searetract	#100 mauna
#101 driver	#102 trenberth	#103 ordovician	#104 southice	#105 amplify	#106 stopped	#107 diverge	#108 hulme	#109 cfc	#110 volcanodrop
#111 co2conc	#112 bright	#113 warmco2	#114 ozone	#115 microwave	#116 industrial	#117 icefraction	#118 tooold	#119 waste	#120 plant
#121 greatlake	#122 runaway	#123 trace	#124 overestimate	#125 breath	#126 iceloss	#127 royalsoc	#128 dmi	#129 fewdegrees	#130 humidity
#131 cycle	#132 fewdegrees	#133 toohard	#134 economy	#135 baseload	#136 cloud	#137 tamper	#138 peerreview	#139 ipccskeptic	#140 foi
#141 bleach	#142 futurecool	#143 stomata	#144 name	#145 scores	#146 sealee	#147 linear	#148 snowcover	#149 atoll	#150 inertia
#151 trends	#152 10000	#153 ipccmwp	#154 ljungqvist	#155 limits	#156 highway	#157 removeco2	#158 urgent	#159 soot	#160 poor
#161 arctic1940	#162 expensive	#163 sealevelrise	#164 venus	#165 variable	#166 limitscool	#167 searise	#168 jobs	#169 gbr	#170 negspencer
#171 loehle	#172 sabby	#173 co2increase	#174 postma	#175 CERN	#176 slr2010	#177 underground	#178 galileo	#179 northwest	#180 stepfunction
#181 tuvalu	#182 best	#183 planetary	#184 schmittner	#185 iris	#186 uah	#187 santer	#188 accelerate	#189 ipccnatural	#190 thermostat
#191 survived	#192 himalayagrow	#193 pal	#194 nuclear	#195 seaice1940	#196 pastarctic	#197 arcticstorm	#198 sandy	#199 16years	#200 longtail
#201 solarminimum	#202 robust97	#203 akasofu	#204 confidence	#205 projections	#206 ipccpause	#207 heatwave	#208 fringe	#209 damagecosts	#210 adaptcheap
#211 meat	#212 satellite	#213 money	#214 holistic						

(Available at : <http://skepticalscience.com/keyword.php>)

Abb. 7.3. Liste der häufigsten Klimaskeptikermymen, zusammengestellt von *Skeptical Science*, abrufbar unter https://static.skepticalscience.com/graphics/sksMythRebuttalChart_jun2019.jpg, letzter Zugriff: 18.08.2020

Eine umfangreiche Sammlung an Unterrichtsmaterialien wie etwa Unterrichtseinheiten und didaktische Materialien zum Thema Klimawandel bietet die erst vor kurzem online gegangene *digitale Plattform Bildung2030*¹⁷. Diese Plattform beruht auf den Ideen und Vorschlägen der Agenda 2030 (siehe Abschnitt 3.2.1) und wurde von BAOBAB, FORUM Umweltbildung, KommEnt, Südwind und Welthaus Graz initiiert und durch die Österreichische Entwicklungszusammenarbeit und dem BMK finanziert [Bildung2030, 2020]. Ähnlich umfangreich sind die Unterlagen, die der Hamburger Bildungsserver¹⁸ zum Download anbietet. Weiters stellt die LMU München¹⁹ bzw. die Internetseite *geographie-heute*²⁰ Unterlagen zum Download zur Verfügung. Empfehlenswert als Nachschlagewert ist auch die 2013 erschienene Broschüre "Und sie erwärmt sich doch" vom deutschen Umweltbundesamt²¹. Eine Quelle für gute Hintergrundinformationen zum Thema Klimawandel findet man auch auf der Seite des ÖKOLOG-Netzwerks²². Der Zusammenstellung des Unterrichtskonzept für

¹⁷<https://bildung2030.at/bildungsmaterial/downloadmaterialien/>, letzter Zugriff: 09.05.2020

¹⁸<https://bildungsserver.hamburg.de/klimawandel/>, letzter Zugriff: 30.05.2020

¹⁹<https://klimawandel-schule.de/>, letzter Zugriff: 26.04.2020

²⁰<https://www.geographie-heute.de/downloads/>, letzter Zugriff: 26.04.2020

²¹https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/und_sie_erwaermt_sich_doch_131201.pdf, letzter Zugriff: 18.02.2020

²²<https://www.oekolog.at/themen/reduzieren-von-emissionen/klimawandel/>, letzter Zugriff: 24.04.2020

neun Stunden zum Thema “Klimawandel in Baden-Württemberg”²³ können auch Anregungen entnommen werden.

7.3 Fazit und Versuch von Antworten auf die Forschungsfragen

Der Klimawandel und seine Folgen sind wohl eines der prominentesten gesellschafts-politischen Themen der letzten Jahre (bis auf die letzten Monate, wo dieses Thema aufgrund der COVID-19-Pandemie und ihrer Auswirkungen in den Hintergrund gerückt ist). Deshalb ist es so wichtig, die Schülerinnen und Schüler, die nun mal die kommende Generation an Entscheidungsträgern darstellt, zu mündigen Bürgerinnen und Bürgern zu erziehen, die im Stande sind zu diesem Thema Fakten und Daten zu analysieren, datenbasiert zu argumentieren und dazu Stellung zu nehmen. Daher ist es unbedingt notwendig das Thema Klimawandel auch in Fächern wie Physik aufzugreifen, um die nötigen wissenschaftlichen Hintergrundinformationen zu liefern. Die hier vorliegende Arbeit stellt nicht nur ein bereits angewendetes Unterrichtskonzept vor, sondern auch eine Analyse und Evaluation dieses inklusive praxistauglicher Verbesserungsvorschläge.

Ursprünglich war dieses Unterrichtskonzept nur für die einmalige Anwendung im Zuge des FAPs geplant. Aufgrund der gut funktionierenden praktischen Umsetzung und dem positiven Feedback der Beteiligten (Schülerinnen und Schüler, Mentorin, etc.), wurde dieses Konzept die Basis für die hier vorliegende Diplomarbeit. Für diese Arbeit galt es zu ermitteln, wie diese neue Lernumgebung die Entwicklung von Wissen zu dem Thema unterstützt (Forschungsfrage 1). Es war natürlich nicht davon auszugehen, dass die Schülerinnen und Schüler alle übermittelten Information über einen langen Zeitraum behalten, jedoch war der Wissensstand nach einem halben Jahr immer noch vergleichbar hoch (siehe Ergebnisse des zweiten Online-Tests, Abschnitt 6.3.2). Auch wenn die durchschnittliche Punktezahl von 6.7 auf 5.0 Punkte von 10 möglichen abgefallen war, war es vor allem im Interview für mich positiv überraschend zu sehen an wie viele Einzelheiten sich die Schülerinnen und Schüler noch erinnern konnten. Es kam zwar vereinzelt zu Verwechslungen von Details, aber in groben Stücken konnten die Schülerinnen und Schüler die verschiedenen Einheiten und, viel wichtiger noch, ihre Inhalte rekapitulieren. Besonders beeindruckend war die relativ genaue Beschreibung der verschiedenen Versuchsaufbauten. Aus den gesammelten Daten kann also vorsichtig der Schluss gezogen werden, dass das neu entwickelte Konzept zwar die Entwicklung von

²³https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Klima/UE_Klimawandel_BW.pdf, letzter Zugriff: 08.05.2020

Wissen unterstützt hat, jedoch zeigte sich bei den Tests und dem Interview, dass das Detailwissen eher mangelhaft war.

Die zweite Forschungsfrage drehte sich um die Idee, dass eine emotionale Komponente (offene Miteinbeziehung der Schülerinnen und Schüler in die Stundenplanung durch die Erstellung und den regelmäßigen Einsatz der Word Cloud) eine längerfristige Wissensaufnahme fördert. Die Reaktion von M1 beim Interview auf das Zeigen der Word Cloud (freut sich, Word Cloud zu sehen und streichelt Ausdruck sogar; siehe Appendix H, S. 169) ist ein deutlicher Hinweis drauf, dass diese Word Cloud ein positiver Anker für diese Schülerin darstellt. Auch die anderen Interviewpartner zeigten durchwegs positive Reaktionen/Emotionen beim Erblicken der Abbildung. M1 erklärte dann sogar, dass in ihrer Erinnerung ihnen (=der Klasse) mehrere Themen zur Auswahl gestanden wären und sie sich von sich aus das Thema Klimawandel ausgesucht hätten. In Wirklichkeit aber wurde dieses Thema mir durch die reguläre Lehrperson bzw. die Mentorin zugewiesen. Das zeigt bereits, wie tief das Gefühl bei dieser Schülerin verankert ist, dass sie aktiv an der Unterrichtsgestaltung teilnehmen durfte. Während des gesamten Interviews war sie auch sehr motiviert und versuchte viele Informationen zu liefern. Auch wenn einige Antworten nicht vollkommen richtig oder sogar ganz falsch waren, merkte man dennoch einen gewissen Enthusiasmus von ihr gegenüber dem Thema Klimawandel. Auch die drei anderen Interviewpartner konnten immer wieder gute Argumente bzw. Informationen liefern. Die zweite Forschungsfrage würde ich daher differenziert beantworten. Das Einbeziehen der Schülerinnen und Schüler in die Unterrichtsgestaltung kann ganz klar die Motivation der Schülerinnen und Schüler fördern, eine unmittelbare Förderung der Wissensaufnahme konnte aufgrund der Testergebnisse jedoch nicht nachgewiesen werden. Eine gesteigerte Motivation kann aber auch dazu führen, dass das Interesse geweckt wird, sich mit der Thematik intensiver zu beschäftigen. Und gerade das ist beim Thema Klimawandel gesellschaftspolitisch betrachtet ein ebenso wichtiger Punkt.

Bei der letzten Forschungsfrage ging es darum, das vorgestellte Konzept zu analysieren: was war gelungen und was sollte verbessert werden. Dieser Frage ist der Abschnitt 7.2 gewidmet. Hervorheben möchte ich hier, dass speziell die Word Cloud, der Exkurs in die vergleichende Planetologie und das Polkappen-Experiment besonders gut bei den Schülerinnen und Schülern angekommen sind, wohingegen der Stationenbetrieb in der dritten Einheit überarbeitet werden müsste. Ein besonderes Augenmerk habe ich auf die Verbesserung der zweiten Einheit gelegt, da hier verstärkt gegen hartnäckige Lernendenvorstellungen vorgegangen werden muss. Weiters sollte vor dem erstmaligen Einsatz der Blitz-Referat-Methodik (vierte Einheit) diese unbedingt genauer besprochen und Rahmenbedingungen dafür vorgegeben werden. In der fünften Einheit schließlich sollte noch nachdrücklicher das Argumentieren mit Klimawandelskeptikern geübt werden. Was in den fünf Einheiten ein

wenig zu kurz kommt, ist die Auseinandersetzung der Schülerinnen und Schüler mit den eigenen Werten. Zwar beschäftigen sich die Schülerinnen und Schüler durch die Anwendung des CO₂-Rechners mit ihren persönlichen CO₂-Emissionen und lernen in der vierten Einheit, welche Maßnahmen sie auch selbst gegen den Klimawandel treffen könnten, jedoch fehlt die unmittelbare Umsetzung. Solch eine Umsetzung könnte z.B. im Zuge eines klassen- oder sogar schulweiten Recycling-Projekts erfolgen. Das wäre nur ein Beispiel, wie die Schülerinnen und Schüler lernen könnten Handlungsoptionen zu entwerfen. Solch ein Projekt übersteigt zwar den Umfang von fünf (bis sechs) Unterrichtseinheiten, würde aber definitiv zu einer Festigung der Erkenntnisse zum Kampf gegen den Klimawandel führen.

Somit kann ich abschließend zusammenfassen, dass im Rahmen der bei dieser Arbeit möglichen Bedingungen, Hinweise der emotionalen Verknüpfung der Schülerinnen und Schüler mit der Thematik bzw. der Unterrichtsgestaltung zu erkennen waren. Aufgrund der Rahmenbedingungen dieser Fallstudie können die Forschungsfragen, streng wissenschaftlich betrachtet, natürlich nur mit Vorbehalt beantwortet werden. So wäre es von Vorteil gewesen, die Wissensfragen auch schon in einem gewissen zeitlichen Abstand vor dem Unterricht zu stellen um mögliches Vorwissen zu ermitteln. Dieser Arbeit fehlen einige Punkte eines abgeschlossenen *Design Based Research* Ansatzes, was jedoch auch den Umfang einer Diplomarbeit bei weitem überschreiten würde. Wenn man statistisch signifikante Daten sammeln möchte, müsste dieses "Experiment" sogar in mehreren Parallelklassen durchgeführt werden. Dafür würde sich zusätzlich ein *Lesson Studies* Ansatz anbieten [Dudley, 2014]. Hier würde gemeinsam mit anderen Lehrpersonen das Konzept über stetige Reflexion, Evaluation und anschließender gemeinsamer Verbesserung weiterentwickelt werden. Da hier unterschiedliche Lehrpersonen das Konzept in unterschiedlichen Klassen anwenden würden, jedoch eine gemeinsame Konzeptentwicklung stattfindet, würde so vermutlich ein sehr gut umsetzbares Konzept entwickelt werden. Ein erstes erneutes Umsetzen in einer siebten Klasse könnte sogar im kommenden Schuljahr stattfinden, da die reguläre Physik-Lehrperson der ehemaligen siebten Klasse angekündigt hat, dieses Konzept in ihren beiden zukünftigen siebten Klassen anzuwenden. Ich würde mich freuen, wenn dieses Unterrichtskonzept tatsächlich noch einmal zum Einsatz kommt und so vielleicht ganz im Sinne der Aktionsforschung verbessert bzw. erweitert werden könnte.

Literaturverzeichnis

N. J. Abram, H. V. McGregor, J. E. Tierney, M. N. Evans, N. P. McKay, D. S. Kaufman, und the PAGES 2k Consortium. Early onset of industrial-era warming across the oceans and continents. *Nature*, 536:411–418, 2016. doi:10.1038/nature19082.

S. Alavipanah, H. Matinfar, A. Rafiei Emam, K. Khodaei, R. Hadji Bagheri, und A. Yazdan Panah. Criteria of selecting satellite data for studying land resources. *Desert*, 15(2):83–102, 2010. doi:10.22059/jdesert.2011.23005.

C. Alter, S. Haynes, und J. Worland. Time 2019 Person of the Year. <https://time.com/person-of-the-year-2019-greta-thunberg/> (letzter Zugriff: 31.12.2019), 2019.

H. Altrichter, P. Posch, und H. Spann. *Lehrerinnen und Lehrer erforschen ihren Unterricht*. Verlag Julius Klinkhardt, 5th edition, 2018. ISBN 978-3-8252-4754-6.

Amnesty International. Climate activists Greta Thunberg and the Fridays for Future movement honoured with top Amnesty International award. <https://www.amnesty.org/en/latest/news/2019/06/greta-thunberg-and-fridays-for-future-win-ambassador-of-conscience-2019-award/> (letzter Zugriff: 31.12.2019), 2019.

W. R. L. Anderegg, J. W. Prall, J. Harold, und S. H. Schneider. Expert credibility in climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(27): 12107–12109, 2010. doi:10.1073/pnas.1003187107.

W. T. Ball, J. Alsing, D. J. Mortlock, J. Staehelin, J. D. Haigh, T. Peter, F. Tummon, R. Stübi, A. Stenke, J. Anderson, A. Bourassa, S. M. Davis, D. Degenstein, S. Frith, L. Froidevaux, C. Roth, V. Sofieva, R. Wang, J. Wild, P. Yu, J. R. Ziemke, und E. V. Rozanov. Evidence for a continuous decline in lower stratospheric ozone offsetting ozone layer recovery. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(2):1379–1394, 2018. doi:10.5194/acp-18-1379-2018.

- J. Bartsch, F. H. Effertz, C. Lukner, und W. Müller. Informationen zum Klimawandel und zu Gegenmaßnahmen. *Naturwissenschaften im Unterrichtsfach Physik*, 111/112:10–12, 2009.
- BIFIE. Kompetenzmodell Naturwissenschaften – 8. Schulstufe. http://www.bifie.at/wp-content/uploads/2017/06/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf (letzter Zugriff: 09.05.2020), 2011.
- Bildung2030. Bildung2030 – Plattform für Globales Lernen und Bildung für nachhaltige Entwicklung – Über uns. <https://bildung2030.at/ueber-uns/ueber-uns/> (letzter Zugriff: 09.05.2020), 2020.
- BLK-Programm Transfer-21. Orientierungshilfe – Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Sekundarstufe I. https://www.globaleslernen.de/sites/default/files/files/link-elements/blk-transfer_2021_20orientierungshilfe.pdf (letzter Zugriff: 25.07.2020), 2007. Von der Arbeitsgruppe „Qualität & Kompetenzen“ entwickelt.
- BMBF. Grundsatzterlass Umweltbildung für nachhaltige Entwicklung. https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulrecht/rs/1997-2017/2014_20.html (letzter Zugriff: 25.04.2020), 2014.
- BMBWF. Umweltbildung für nachhaltige Entwicklung. <https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulpraxis/prinz/umweltbildung.html> (letzter Zugriff: 25.04.2020), 2019.
- BMBWF. Schulentwicklungsprogramm 2020 – SCHEP 2020. <https://www.bmbwf.gv.at/dam/jcr:466fff77-3f83-4632-928c-b53c0b12c9c9/schep2020.pdf> (letzter Zugriff: 14.05.2020), 2020.
- BMK. Ausgezeichnete Schulen und Pädagogische Hochschulen. <https://www.umweltzeichen.at/de/bildung/schulen> (letzter Zugriff: 25.04.2020), 2020.
- BMK, BMBWF, VKI, und FORUM Umweltbildung. Österreichisches Umweltzeichen – Schulen und Pädagogische Hochschulen (Version 7). https://www.umweltzeichen.at/file/Richtlinie/UZ%20301/Long/Uz301-Schulen-PH_Richtlinie_R7.0a_2018.pdf (letzter Zugriff: 25.04.2020), 2018.
- BMNT. Das Übereinkommen von Paris. https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen_wohnen_und_umwelt/klimaschutz/1/Seite.1000325.html (letzter Zugriff: 31.01.2020), 2019.

- BMNT. Montrealer Protokoll setzt Meilenstein im Klimaschutz. <https://www.bmnt.gv.at/umwelt/chemikalien/uebereinkommen-int/30JahreWrKonvention.html> (letzter Zugriff: 29.12.2019), 2019.
- BMNT. Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich. Technical report, BMNT, 2019.
- BMU. Umwelt im Unterricht – Materialien zu aktuellen Themen (Deutsches Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit). <https://www.umwelt-im-unterricht.de/> (letzter Zugriff: 15.02.2020), 2020.
- S. Brockmüller. Kohlenstoffdioxid und Klimawandel. *Naturwissenschaften im Unterrichtsfach Physik*, 111/112:42–54, 2009.
- A. L. Brown. Design Experiments: Theoretical and Methodological Challenges in Creating Complex Interventions in Classroom Settings. *Journal of the Learning Sciences*, 2(2):141–178, 1992. doi:10.1207/s15327809jls0202_2.
- R. W. Bybee und N. M. Landes. Science for Life & Living: An Elementary School Science Program from Biological Sciences Curriculum Study. *The American Biology Teacher*, 52(2):92–98, 1990.
- C.-H. Chang und L. Pascua. Singapore students' misconceptions of climate change. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 25(1):84–96, 2016. doi:10.1080/10382046.2015.1106206.
- D. Clery. Greenhouse–power plant hybrid set to make jordan's desert bloom. *Science*, 331(6014):136–136, 2011. doi:10.1126/science.331.6014.136.
- D. Clery. Desert Farming Experiment Yields First Results. <http://news.sciencemag.org/asiapacific/2013/11/desert-farming-experiment-yields-first-results> (letzter Zugriff: 31.05.2020), 2013.
- A. Collins. Toward a Design Science of Education. Technical Report 1, CTE Technical Report, 1990.
- J. Cook, D. Nuccitelli, S. A. Green, M. Richardson, B. Winkler, R. Painting, R. Way, P. Jacobs, und A. Skuce. Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. *Environmental Research Letters*, 8(2):024024, 2013. doi:10.1088/1748-9326/8/2/024024.

- J. Cook, S. Lewandowsky, und U. K. H. Ecker. Neutralizing misinformation through inoculation: Exposing misleading argumentation techniques reduces their influence. *PLOS ONE*, 12(5):1–21, 05 2017. doi:10.1371/journal.pone.0175799.
- J. Corfee-Morlot, M. Maslin, und J. Burgess. Global warming in the public sphere. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365 (1860):2741–2776, 2007. doi:10.1098/rsta.2007.2084.
- Daly, N. Fake animal news abounds on social media as coronavirus upends life. <https://www.nationalgeographic.com/animals/2020/03/coronavirus-pandemic-fake-animal-viral-social-media-posts/> (letzter Zugriff: 08.05.2020), 2020.
- G. de Haan. Gestaltungskompetenz als Kompetenzkonzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung. In I. Bormann und G. de Haan, editors, *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung - Operationalisierungen, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde*, pages 23–43. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 1st edition, 2008.
- Die neue Volkspartei und Die Grünen – Die Grüne Alternative. Regierungsprogramm 2020 – 2024. <https://www.gruene.at/themen/demokratieverfassung/regierungsbereinkommen-tuerkis-gruen/regierungsbereinkommen.pdf> (letzter Zugriff: 02.01.2020), 2020.
- Die Presse. Wissenschaft und NGOs beklagen “lückenhaften Energieplan”. <https://www.diepresse.com/5720967/wissenschaft-und-ngos-beklagen-lueckenhaften-energieplan> (letzter Zugriff: 31.12.2019), 2019.
- J. Dietjen. *Politische Bildung. Geschichte und Gegenwart in Deutschland*. 2013. ISBN 3486582100.
- P. Dudley. Lesson Study: a handbook. <http://lessonstudy.co.uk/wp-content/uploads/2012/03/new-handbook-revisedMay14.pdf> (letzter Zugriff: 25.06.2020), 2014.
- I. Eilks, T. Feierabend, C. Hößle, D. Höttecke, J. Menthe, M. Mrochen, und H. Oelgeklaus, editors. *Der Klimawandel vor Gericht. Materialien für den Fach- und Projektunterricht*. Aulis-Verlag, 2011.
- D. Ertl. The Nature of Science – Das Wesen / die Natur der Naturwissenschaften. *Plus Lucis*, 1-2:5–7, 2010.

ESA. Klimageschichte (1): Leben im Eiszeitalter. https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Klimageschichte_1_Leben_im_Eiszeitalter (letzter Zugriff: 01.01.2020), 2020.

ESA. Ungewöhnliches Ozonloch öffnet sich über der Arktis. http://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Ungewoehnliches_Ozonloch_oeffnet_sich_ueber_der_Arktis (letzter Zugriff: 08.05.2020), 2020.

Europäische Kommission. Kyoto protocol – What is the Kyoto Protocol? (MEMO/03/154). https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_03_154 (letzter Zugriff: 30.12.2019), 2003.

Europäische Kommission. Citizens' summary – EU climate and energy package. https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/2020/docs/climate_package_en.pdf (letzter Zugriff: 31.12.2019), 2011.

Europäische Kommission. Progress towards achieving the Kyoto and EU 2020 Objectives [COM(2013) 698 final]. Technical report, Europäische Kommission, 2013.

Europäische Kommission. Rahmen für die Klima- und Energiepolitik bis 2030. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_de#tab-0-0 (letzter Zugriff: 31.12.2019), 2014.

Europäische Kommission. Ein sauberer Planet für alle – Eine Europäische strategische, langfristige Vision für eine wohlhabende, moderne, wettbewerbsfähige und klimaneutrale Wirtschaft [COM(2018) 773 final]. Technical report, Europäische Kommission, 2018.

Europäisches Parlament. Europäisches Parlament ruft Klimanotstand aus. <https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20191121IPR67110/europaisches-parlament-ruft-klimanotstand-aus> (letzter Zugriff: 31.12.2019), 2019.

F. A. Brockhaus, editor. *Der Brockhaus Astronomie: Planeten, Sterne, Galaxien*, chapter astronomisches Fenster / atmosphärisches Fenster, page 45. F. A. Brockhaus, 2006a.

F. A. Brockhaus, editor. *Der Brockhaus Astronomie: Planeten, Sterne, Galaxien*, chapter Solarkonstane, page 432. F. A. Brockhaus, 2006b.

- FEE. Eco-Schools History. <https://www.ecoschools.global/our-history> (letzter Zugriff: 25.04.2020), 2019.
- FORUM Umweltbildung. BNE-Kompetenzen – Das BNE-Modell des FORUM Umweltbildung. <https://bildung2030.at/bildung-fuer-nachhaltige-entwicklung/bne-kompetenzen/> (letzter Zugriff: 09.05.2020), 2020.
- A. C. Fowler, R. E. M. Rickaby, und E. W. Wolff. Exploration of a simple model for ice ages. *International Journal on Geomathematics*, 4:227–297, 2013. doi:10.1007/s13137-012-0040-7.
- A. E. Gorbalenya, S. C. Baker, R. S. Baric, R. J. de Groot, C. Drosten, A. A. Gulyaeva, B. L. Haagmans, C. Lauber, A. M. Leontovich, B. W. Neuman, D. Penzar, S. Perlman, L. L. M. Poon, D. V. Samborskiy, I. A. Sidorov, I. Sola, J. Ziebuhr, und C. S. G. o. t. I. C. o. T. of Viruses. The species Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nature Microbiology*, 5(4):536–544, 2020. doi:10.1038/s41564-020-0695-z.
- R. Goyal, M. England, A. Sen Gupta, und M. Jucker. Reduction in surface climate change achieved by the 1987 Montreal Protocol. *Environ. Res. Lett.*, 14:124041, 2019. doi:10.1088/1748-9326/ab4874.
- C. Gräsel. *Umweltbildung*, pages 845–859. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2010. ISBN 978-3-531-92015-3. doi:10.1007/978-3-531-92015-3_44.
- D. Grundmann. *Bildung für nachhaltige Entwicklung in Schulen verankern – Handlungsfelder, Strategien und Rahmenbedingungen der Schulentwicklung*. Springer, 2017. ISBN 978-3-658-16912-1. doi:10.1007/978-3-658-16913-8.
- J. Hansen, M. Sato, G. Russell, und P. Kharecha. Climate sensitivity, sea level and atmospheric carbon dioxide. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(2001):20120294, 2013. doi:10.1098/rsta.2012.0294.
- F. Hanzer, K. Förster, J. Nemec, und U. Strasser. Projected cryospheric and hydrological impacts of 21st century climate change in the Ötztal alps (austria) simulated using a physically based approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(2):1593–1614, 2018. doi:10.5194/hess-22-1593-2018.
- R. Harf. Wie aus einer Wolke unser blauer Planet wurde. *GEOkompakt*, 56:8–25, 2018.

- P. Heering und K. Kremer. *Nature of Science*, pages 105–119. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2018. ISBN 978-3-662-56320-5. doi:10.1007/978-3-662-56320-5_7.
- T. Henriksen, A. Dahlback, S. H. Larsen, und J. Moan. Ultraviolet-radiation and skin cancer. Effect of an ozone layer depletion. *Photochemistry and Photobiology*, 51(5):579–582, 1990. doi:10.1111/j.1751-1097.1990.tb01968.x.
- E. Hertig. Distribution of *Anopheles* vectors and potential malaria transmission stability in europe and the mediterranean area under future climate change. *Parasites Vectors*, 12:18, 2019. doi:10.1186/s13071-018-3278-6.
- D. Höttecke, V. Maiseyenka, J. Rethfeld, und M. Mrochen. Den Treibhauseffekt verstehen. *Naturwissenschaften im Unterrichtsfach Physik*, 111/112:24–36, 2009.
- IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical report, IPCC, 2014.
- IPCC. The Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/> (letzter Zugriff: 30.12.2019), 2019.
- IUS. ÖKOLOG-Schulen. <https://www.oekolog.at/schulen/> (letzter Zugriff: 25.04.2020), 2020.
- S. Jevrejeva, J. C. Moore, A. Grinsted, und P. L. Woodworth. Recent global sea level acceleration started over 200 years ago? *Geophysical Research Letters*, 35(8), 2008. doi:10.1029/2008GL033611.
- C. K. Johnson, P. L. Hitchens, P. S. Pandit, J. Rushmore, T. S. Evans, C. C. Young, und M. M. Doyle. Global shifts in mammalian population trends reveal key predictors of virus spillover risk. *Proceedings. Biological sciences*, 287(1924):20192736, 2020. doi:10.1098/rspb.2019.2736.
- U. Kattmann, R. Duit, H. Gropengießer, und M. Komorek. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3):3–18, 1997.
- V. Kaufmann, A. Kellerer-Pirklbauer, G. K. Lieb, H. Slupetzky, und M. Avian. *Glaciological Studies at Pasterze Glacier (Austria) Based on Aerial Photographs*, pages

- 173–198. Springer Netherlands, Dordrecht, 2015. ISBN 978-94-017-9813-6. doi:10.1007/978-94-017-9813-6_9.
- A. C. Kemp, B. P. Horton, J. P. Donnelly, M. E. Mann, M. Vermeer, und S. Rahmstorf. Climate related sea-level variations over the past two millennia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011. doi:10.1073/pnas.1015619108.
- J. P. Klages, U. Salzmann, T. Bickert, C.-D. Hillenbrand, K. Gohl, G. Kuhn, S. M. Bohaty, J. Titschack, J. Müller, T. Frederichs, T. Bauersachs, W. Ehrmann, T. van de Flierdt, P. S. Pereira, R. D. Larter, G. Lohmann, I. Niezgodzki, G. Uenzelmann-Neben, M. Zundel, C. Spiegel, C. Mark, D. Chew, J. E. Francis, G. Nehrke, F. Schwarz, J. A. Smith, T. Freudenthal, O. Esper, H. Pälike, T. A. Ronge, R. Dzia-dek, und the Science Team of Expedition PS104. Temperate rainforests near the South Pole during peak Cretaceous warmth. *Nature*, 580(7801):81–86, 2020. doi:10.1038/s41586-020-2148-5.
- G. Klees und A. Tillmann. Design-Based Research als Forschungsansatz in der Fachdidaktik Biologie. *Journal für Didaktik der Biowissenschaften*, 6:91–110, 2015.
- Klima- und Energiefonds. Klimaschulen – Ziele und Hintergrund. <https://klimaschulen.at/klimaschulen/ziele-und-hintergrund/> (letzter Zugriff: 25.04.2020), 2017.
- Klimabündnis Österreich. TeilnehmerInnen der Klimameilen-Kampagne 2019. https://www.klimabuendnis.at/images/doku/KMK_TN_2019.pdf (letzter Zugriff: 25.04.2020), 2019.
- A. H. Knoll und M. A. Nowak. The timetable of evolution. *Science Advances*, 3(5), 2017. doi:10.1126/sciadv.1603076.
- H. Kromp-Kolb und H. Formayer. *Schwarzbuch Klimawandel: Wieviel Zeit bleibt uns noch?* Ecwin, 2005. ISBN 3-902404-14-0.
- S. A. Kulp und B. H. Strauss. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nature Communications*, 10(1):4844, 2019. doi:10.1038/s41467-019-12808-z.
- L. R. Kump, A. E. Fallick, V. A. Melezhik, H. Strauss, und A. Lepland. 8.1 *The Great Oxidation Event*, pages 1517–1533. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2013. ISBN 978-3-642-29670-3. doi:10.1007/978-3-642-29670-3_11.

- A. Lambrecht und M. Kuhn. Glacier changes in the Austrian Alps during the last three decades, derived from the new Austrian glacier inventory. *Annals of Glaciology*, 46:177–184, 2007. doi:10.3189/172756407782871341.
- T. Landscheidt. New little ice age instead of global warming? *Energy & Environment*, 14(2-3):327–350, 2003. doi:10.1260/095830503765184646.
- C. Le Quéré, R. B. Jackson, M. W. Jones, A. J. P. Smith, S. Abernethy, R. M. Andrew, A. J. De-Gol, D. R. Willis, Y. Shan, J. G. Canadell, P. Friedlingstein, F. Creutzig, und G. P. Peters. Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change*, 2020. doi:10.1038/s41558-020-0797-x.
- S. Lee und S. B. Feldstein. Detecting ozone- and greenhouse gas-driven wind trends with observational data. *Science*, 339(6119):563–567, 2013. doi:10.1126/science.1225154.
- A. Lenton, F. Codron, L. Bopp, N. Metzl, P. Cadule, A. Tagliabue, und J. Le Sommer. Stratospheric ozone depletion reduces ocean carbon uptake and enhances ocean acidification. *Geophysical Research Letters*, 36(12), 2009. doi:10.1029/2009GL038227.
- S. L. Lewis und M. A. Maslin. Defining the anthropocene. *Nature*, 519:171–180, 2015. doi:10.1038/nature14258.
- Y. Li, E. Kalnay, S. Motescharrei, J. Rivas, F. Kucharski, D. Kirk-Davidoff, E. Bach, und N. Zeng. Climate model shows large-scale wind and solar farms in the sahara increase rain and vegetation. *Science*, 361(6406):1019–1022, 2018. doi:10.1126/science.aar5629.
- Q. Ma. Greenhouse Gases: Refining the Role of Carbon Dioxide. https://www.giss.nasa.gov/research/briefs/ma_01/ (letzter Zugriff: 02.01.2020), 1998.
- G. Markl. *Minerale und Gesteine – Mineralogie - Petrologie - Geochemie*. Springer Spektrum, 3 edition, 2015.
- W. J. M. Martens, M. G. J. den Elzen, H. Slaper, P. J. M. Koken, und B. A. T. Willems. The impact of ozone depletion on skin cancer incidence: An assessment of the Netherlands and Australia. *Environmental Modeling & Assessment*, 1:229–240, 1996. doi:10.1007/BF01872152.

- S. Maruyama und T. Ebisuzaki. Origin of the earth: A proposal of new model called abel. *Geoscience Frontiers*, 8(2):253 – 274, 2017. doi:10.1016/j.gsf.2016.10.005.
- McGrath, M. Climate change and coronavirus: Five charts about the biggest carbon crash. <https://www.bbc.com/news/science-environment-52485712> (letzter Zugriff: 08.05.2020), 2020.
- A. McMichael, R. Lucas, A.-L. Ponsonby, und S. Edwards. *Climate change and human health - risks and responses*, chapter 8: Stratospheric ozone depletion, ultraviolet radiation and health, pages 159–180. WHO, 2003.
- R. Merzian, A. Quicke, E. Bennett, R. Campbell, und T. Swann. Climate of the Nation 2019 – Tracking Australia’s attitudes towards climate change and energy. Technical report, The Australia Institute, 2019. https://www.tai.org.au/sites/default/files/Climate%20of%20the%20Nation%202019%20%5BWEB%5D_0.pdf (letzter Zugriff: 17.08.2020).
- M. Milanković. *Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem*. Königliche Serbische Akademie, 1941.
- NASA. 2019 Ozone Hole is the Smallest on Record Since Its Discovery. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2019/2019-ozone-hole-is-the-smallest-on-record-since-its-discovery> (letzter Zugriff: 29.12.2019), 2019.
- K. Niebert. » Ich finde es gut , wenn es bei uns ein bisschen wärmer wird .« . *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, pages 23–38, 2008.
- K. Niebert. “Es wird wärmer, weil mehr Sonne auf die Erde scheint”. *Naturwissenschaften im Unterrichtsfach Physik*, 111/112:20–23, 2009.
- K. Niebert. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion. In M. Komorek und B. Moschner, editors, *Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung*, volume 31. Oldenburg: Didaktisches Zentrum, 1 edition, 2010. ISBN 978-3-8142-2216-5.
- Nobel Media. The Nobel Peace Prize 2007. <https://www.nobelprize.org/prizes/peace/2007/summary/> (letzter Zugriff: 30.12.2019), 2007.
- L. M. Och und G. A. Shields-Zhou. The neoproterozoic oxygenation event: Environmental perturbations and biogeochemical cycling. *Earth-Science Reviews*, 110(1): 26 – 57, 2012. doi:10.1016/j.earscirev.2011.09.004.

- P. Oh. Got Climate Change Misconceptions? John Cook Can Help. *Reports of the National Center for Science Education*, 39(1), 2019.
- M. Paetsch und R. Harf. Die Geburt des Lebens. *GEOkompakt*, 56:28–39, 2018.
- I. Parchmann. Treibhauseffekt und Ozonloch - ein großes Durcheinander. *Plus Lucis*, 2:33–37, 1996.
- T. C. Peterson, W. M. Connolley, und J. Fleck. The Myth of the 1970s Global Cooling Scientific Consensus. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89 (9):1325–1338, 2008. doi:10.1175/2008BAMS2370.1.
- E. Pongratz. Eine Stunde für den Klimaschutz - Neues Schulfach in Italien. <https://www.tagesschau.de/ausland/klimawandel-schulfach-101.html> (letzter Zugriff: 15.02.2020), 2019.
- J. Powell. Scientists reach 100% consensus on anthropogenic global warming. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 37(4):183–184, 2019. doi:10.1177/0270467619886266.
- S. Rahmstorf. Das Klima-Manifest der WerteUnion. https://www.spektrum.de/kolumne/das-klima-manifest-der-werteunion/1710322?utm_medium=newsletter&utm_source=sdw-nl&utm_campaign=sdw-nl-daily&utm_content=heute (letzter Zugriff: 08.05.2020), 2020.
- R. J. Rapf und V. Vaida. Sunlight as an energetic driver in the synthesis of molecules necessary for life. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 18:20067–20084, 2016. doi:10.1039/C6CP00980H.
- S. Reinfried, B. Rottermann, U. Aeschbacher, und E. Huber. Alltagsvorstellungen über den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung verändern - eine Voraussetzung für Bildung für nachhaltige Entwicklung. *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften*, 32:251–273, 2010.
- M. Reuschenbach. Schwächt sich der Golfstrom ab? - Ein Ozean-Klima-Wechselspiel. *Geographie Heute*, 341, 2018.
- W. J. Ripple, C. Wolf, T. M. Newsome, P. Barnard, und W. R. Moomaw. World Scientists' Warning of a Climate Emergency. *BioScience*, 11 2019. doi:10.1093/biosci/biz088.

- T. Roßbegalle. *Fachdidaktische Entwicklungsforschung zum besseren Verständnis atmosphärischer Phänomene – Treibhauseffekt, saurer Regen und stratosphärischer Ozonabbau als Kontexte zur Vermittlung von Basiskonzepten der Chemie*. PhD thesis, TU Dortmund, 2015.
- J. Rost. Umweltbildung - Bildung für nachhaltige Entwicklung. Was macht den Unterschied? *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik*, 25(1):7–12, 2002.
- J. Rost. Messung von Kompetenzen Globalen Lernens. *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik*, 28(2):14–18, 2005.
- J. Rubner. Wir brauchen keine Klimaforscher. *Süddeutsche Zeitung*, 2010. <https://www.sueddeutsche.de/wissen/klimaskeptiker-wir-brauchen-keine-klimaforscher-1.6518> (letzter Zugriff: 16.02.2020).
- B. E. Schirrmeister, M. Gugger, und P. C. J. Donoghue. Cyanobacteria and the great oxidation event: evidence from genes and fossils. *Palaeontology*, 58(5):769–785, 2015. doi:10.1111/pala.12178.
- D. Schönherr. Endbericht – Zur Situation von Eltern während der Coronapandemie (Sora-Umfrage im Auftrag des Momentum Instituts). https://www.sora.at/fileadmin/downloads/projekte/2020_20133_Momentum_Elternbefragung_Corona_Endbericht.pdf (letzter Zugriff: 08.05.2020), 2020.
- B. Schober, M. Lüftenegger, und C. Spiel. Lernen unter COVID-19-Bedingungen – Erste Ergebnisse Schüler*innen. <https://lernencovid19.univie.ac.at/ergebnisse/schuelerinnen/> (letzter Zugriff: 08.05.2020), 2020.
- C. Schreiner, E. K. Henriksen, und P. J. K. Hansen. Climate education: Empowering today's youth to meet tomorrow's challenges. *Studies in Science Education*, 41(1):3–49, 2005. doi:10.1080/03057260508560213.
- S. Schuler. *Alltagstheorien zu den Ursachen und Folgen des globalen Klimawandels – Erhebung und Analyse von Schülervorstellungen aus geographiedidaktischer Perspektive*. PhD thesis, Ruhr-Universität Bochum, 2010.
- D. Shepardson, D. Niyogi, S. Choi, und U. Charusombat. Students' conceptions about the greenhouse effect, global warming, and climate change. *Climatic Change*, 104:481–507, 2011. doi:10.1007/s10584-009-9786-9.

- Skeptical Science. Skeptic Arguments and What the Science Says. <https://www.skepticalscience.com/fixednum.php> (letzter Zugriff: 08.05.2020), 2010.
- N. H. Sleep. The hadean-archaeon environment. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 2(6), 2010. doi:10.1101/cshperspect.a002527.
- M. Stangl, H. Formayer, M. Hofstätter, A. Orlik, K. Andre, J. Hiebl, G. Steyrer, und C. Michl. Klimastatusbericht 2018. Technical report, CCCA, Wien, 2019.
- W. Steffen, J. Rockström, K. Richardson, T. M. Lenton, C. Folke, D. Liverman, C. P. Summerhayes, A. D. Barnosky, S. E. Cornell, M. Crucifix, J. F. Donges, I. Fetzer, S. J. Lade, M. Scheffer, R. Winkelmann, und H. J. Schellnhuber. Trajectories of the earth system in the anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(33):8252–8259, 2018. doi:10.1073/pnas.1810141115.
- K. Steininger, M. König, B. Bednar-Friedl, L. Kranzl, W. Loibl, und F. Prettenhaler. *Economic Evaluation of Climate Change Impacts: Development of a Cross-Sectoral Framework and Results for Austria*. Springer Climate. Springer International Publishing, 2015. ISBN 9783319124575.
- Österreichische Hagelversicherung. Katastrophale Wettervielfalt prägte das Jahr 2018. <https://www.hagel.at/presseaussendungen/rekorde-werden-durch-erderwaermung-zur-normalitaet/> (letzter Zugriff: 29.12.2019), 2018.
- T. Storelvmo, T. Leirvik, U. Lohmann, P. C. B. Phillips, und M. Wild. Disentangling greenhouse warming and aerosol cooling to reveal Earth’s climate sensitivity. *Nature Geoscience*, 9:286–289, 2016. doi:10.1038/ngeo2670.
- Svante Thunberg. TV-Interview durchgeführt von Mishal Husain, veröffentlicht am 30.12.2019. BBC, Link: <https://www.bbc.com/news/uk-50901789> (letzter Zugriff: 31.12.2019), 2019.
- The Design-Based Research Collective. Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 32(1):5–8, 2003. doi:10.3102/0013189X032001005.
- K. E. Trenberth und J. T. Fasullo. Tracking Earth’s Energy: From El Niño to Global Warming. *Surveys in Geophysics*, 33(3):413–426, 2012. doi:10.1007/s10712-011-9150-2.

Umweltbundesamt. Klimaschutzbericht 2019 – Analyse der Treibhausgas-Emissionen bis 2017. Technical report, Umweltbundesamt GmbH, 2019.

UN. 70/1. Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung (A/RES/70/1). Technical report, UN Generalversammlung, 2015.

UN Environment. The Montreal Protocol. <https://www.unenvironment.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol> (letzter Zugriff: 30.12.2019), 2019.

UN Treaty Collection. United Nations Framework Convention on Climate Change - Status. https://treaties.un.org/Pages/ViewDetailsIII.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7&chapter=27&Temp=mtdsg3&clang=_en#1 (letzter Zugriff: 30.12.2019), 2019.

United Nations Framework Convention on Climate Change, New York, 1992. UN und Kanada. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf> (letzter Zugriff: 25.07.2020).

UNESCO. Roadmap zur Umsetzung des Weltaktionsprogramms “Bildung für nachhaltige Entwicklung”. Technical report, UNESCO, 2014. https://www.bmbf.de/files/2015_Roadmap_deutsch.pdf (letzter Zugriff: 25.07.2020).

Universität Wien. Semesterfrage 2018: Wie retten wir unser Klima? <https://medienportal.univie.ac.at/uniview/semesterfrage/klimawandel/> (letzter Zugriff: 02.01.2020), 2018.

J. W. Valley, A. J. Cavosie, T. Ushikubo, D. A. Reinhard, D. F. Lawrence, D. J. Larson, P. H. Clifton, T. F. Kelly, S. A. Wilde, D. E. Moser, und M. J. Spicuzza. Hadean age for a post-magma-ocean zircon confirmed by atom-probe tomography. *Nature Geoscience*, 7(3):219–223, 2014. doi:10.1038/ngeo2075.

B. Vasari. Frühlingsgefühle. *Wiener Zeitung*, 106:9–10, 2020. (30./31. Mai).

P. Voosen. A 500-million-year survey of Earth’s climate reveals dire warning for humanity. *Science*, 2019. doi:10.1126/science.aay1323.

M. R. Walter, R. Buick, und J. S. R. Dunlop. Stromatolites 3,400–3,500 Myr old from the North Pole area, Western Australia. *Nature*, 284:443–445, 1980. doi:10.1038/284443a0.

- D. W. Waugh, F. Primeau, T. DeVries, und M. Holzer. Recent changes in the ventilation of the southern oceans. *Science*, 339(6119):568–570, 2013. doi:10.1126/science.1225411.
- S. Weart. *The Discovery of Global Warming*. New Histories of Science, Technology, and Medicine. Harvard University Press, 2008. ISBN 9780674031890.
- F. Weinert. Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. Weinert, editor, *Leistungsmessungen in Schulen*, pages 15–31. Beltz Verlag, 2nd edition, 2001.
- WerteUnion in Bayern - Konservativer Aufbruch. Klima-Manifest 2020. <http://archive.is/Eq94n#selection-5069.23-5069.45> (letzter Zugriff: 08.05.2020), 2019.
- F. Westall, S. T. de Vries, W. Nijman, V. Rouchon, B. Orberger, V. Pearson, J. Watson, A. Verchovsky, I. Wright, J.-N. Rouzaud, D. Marchesini, und A. Severine. The 3.466 Ga “Kitty’s Gap Chert”, an early Archean microbial ecosystem. In *Processes on the Early Earth*. Geological Society of America, 2006. ISBN 9780813724058. doi:10.1130/2006.2405(07).
- WHO. 2019-nCoV-Ausbruch zur gesundheitlichen Notlage von internationaler Tragweite erklärt. <http://www.euro.who.int/de/health-topics/health-emergencies/coronavirus-covid-19/news/news/2020/01/2019-ncov-outbreak-is-an-emergency-of-international-concern> (letzter Zugriff: 08.05.2020), 2020.
- S. A. Wilde, J. W. Valley, W. H. Peck, und C. M. Graham. Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago. *Nature*, 409:175–178, 2001. doi:10.1038/35051550.
- T. Wilhelm und M. Hopf. *Design-Forschung*, pages 31–42. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2014. ISBN 978-3-642-37827-0. doi:10.1007/978-3-642-37827-0_3.
- Proceedings of the World Climate Conference - a conference of experts on climate and Mankind*, number 537 in WMO, 1979. WMO (World Meteorological Organization). ISBN 9263105375.
- C. R. Woese, O. Kandler, und M. L. Wheelis. Towards a natural system of organisms: proposal for the domains archaea, bacteria, and eucarya. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 87(12):4576–4579, 1990. doi:10.1073/pnas.87.12.4576.

- K. Worth. Climate Change Skeptic Group Seeks to Influence 200,000 Teachers. <https://www.pbs.org/wgbh/frontline/article/climate-change-skeptic-group-seeks-to-influence-200000-teachers/> (letzter Zugriff: 15.02.2020), 2017.
- C. Xu, T. A. Kohler, T. M. Lenton, J.-C. Svenning, und M. Scheffer. Future of the human climate niche. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020. doi:10.1073/pnas.1910114117.
- K. Zahnle, L. Schaefer, und B. Fegley. Earth's earliest atmospheres. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 2(10), 2010. doi:10.1101/cshperspect.a004895.
- ZAMG. 2018 mit großer Wahrscheinlichkeit wärmstes Jahr der Messgeschichte. <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/2018-mit-grosser-wahrscheinlichkeit-waermstes-jahr-der-messgeschichte> (letzter Zugriff: 29.12.2019), 2018.
- ZAMG. 2019 eines der drei wärmsten Jahre der Messgeschichte. <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/2019-eines-der-drei-waermsten-jahre-der-messgeschichte> (letzter Zugriff: 29.12.2019), 2019.
- A. Zeyer und W.-M. Roth. A mirror of society: a discourse analytic study of 15- to 16-year-old Swiss students' talk about environment and environmental protection. *Cultural Studies of Science Education*, 4(4):961, 2009. doi:10.1007/s11422-009-9217-2.
- P. Zhou, X.-L. Yang, X.-G. Wang, B. Hu, L. Zhang, W. Zhang, H.-R. Si, Y. Zhu, B. Li, C.-L. Huang, H.-D. Chen, J. Chen, Y. Luo, H. Guo, R.-D. Jiang, M.-Q. Liu, Y. Chen, X.-R. Shen, X. Wang, X.-S. Zheng, K. Zhao, Q.-J. Chen, F. Deng, L.-L. Liu, B. Yan, F.-X. Zhan, Y.-Y. Wang, G.-F. Xiao, und Z.-L. Shi. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature*, 579(7798):270–273, 2020. doi:10.1038/s41586-020-2012-7.
- A. Zhuravlev und R. Wood. The two phases of the Cambrian Explosion. *Scientific Reports*, 8:16656, 2018. doi:10.1038/s41598-018-34962-y.

Appendix

Der Appendix enthält

A die Zusammenfassung der Arbeit auf Deutsch (S. 130),

B die Zusammenfassung der Arbeit auf Englisch (abstract, S. 132),

C-G die Unterlagen zu den fünf Einheiten (S. 134),

H das Transkript des Interviews mit den vier Schülerinnen und Schüler (S. 169),

I die Antworten der Schülerinnen und Schüler auf die Online-Tests (S. 183),

J die überarbeiteten Unterrichtsmaterialien (S. 197),

K die didaktische Analyse (S. 204) und

L alternative thematische Themenblöcke (S. 205).

A. Zusammenfassung (Deutsch)

Dass sich das Klima der Erde gerade in einem nie davor dagewesenen Tempo wandelt – wenn man katastrophale Ereignisse wie Asteroideneinschläge oder den Ausbruch von Supervulkanen beiseite lässt –, ist Wissenschaftlern schon seit einigen Jahrzehnten bewusst. Es hat jedoch ein junges Mädchen aus Schweden gebraucht um auch dem Rest der Welt die Ausmaße des Klimawandels aufzuzeigen. In den letzten Jahren wurde die Diskussion um den Klimawandel und seine Auswirkungen immer intensiver. Damit sich Schülerinnen und Schüler, die die zukünftigen Entscheidungsträger darstellen, in dem Gewirr an Informationen und Desinformation zurechtfinden können, ist es unerlässlich den Klimawandel faktenbasiert in den Schulunterricht aufzunehmen. Detailliert ausgearbeitete Unterrichtskonzepte, speziell für die siebte Klasse, sind jedoch im Moment noch Mangelware. In dieser Diplomarbeit wird ein solches Unterrichtskonzept für fünf Einheiten in Physik für die siebte Klasse vorgestellt. Dieses Konzept wurde bereits in einer Klasse angewendet und konnte somit bereits im Sinne des *Design-Based Research* bzw. der *Aktionsforschung* evaluiert und modifiziert werden.

Die fünf Einheiten haben die folgenden Schwerpunkte: (1) Vergleich der Klimageschichte der Planeten Venus, Erde und Mars, (2) Treibhauseffekt, (3) (inter-)nationale Auswirkungen des Klimawandels, (4) Maßnahmen gegen den Klimawandel und (5) Umgang mit *Fake News* zu diesem Thema. Dabei wurde besonderer Wert auf eine Variation der Methodik und dem Einsatz von neuen Medien gelegt. Zur Evaluation des Konzepts wurden ein Online-Test (10 Fragen), der einmal direkt nach den Einheiten und einmal etwa sechs Monate später durchgeführt wurde und ein Interview mit einer Gruppe von zwei Schülerinnen und zwei Schülern, das ebenfalls etwa sechs Monate nach den Unterrichtseinheiten stattfand, herangezogen. Zusätzlich zu den zehn Fragen, die den Wissensstand abprüfen sollten, wurden den Schülerinnen und Schülern direkt nach den Unterrichtseinheiten noch Fragen zum Unterricht selbst (Feedback) bzw. nach dem Test nach sechs Monaten nach der allgemeinen Haltung der Schülerinnen und Schülern zum Klimawandel gestellt. Schließlich flossen auch die Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge der Mentorin in die Evaluation ein.

Als Einstieg in die Thematik wurde gemeinsam mit den Schülerinnen und Schülern eine Word Cloud zu jenen Themen erstellt, die ihnen vor den Einheiten zum Thema Klimawandel einfielen. Diese Word Cloud wurde dann als ständiger Begleiter zu Beginn aller Einheiten gezeigt, wobei jene Stichworte, die in der jeweiligen folgenden Einheit bearbeitet werden sollten, hervorgehoben wurden. Dadurch gewannen die Schülerinnen und Schüler den Eindruck, dass sie aktiv an der Unterrichtsgestaltung beigetragen haben. Nach der Auswertung der gesammelten Daten sehe ich diese

emotionale Komponente als wichtigen Punkt die langfristige Wissensaufnahme zu fördern.

Im Großen und Ganzen kann das Unterrichtskonzept als gut umsetzbar und nachhaltig angesehen werden, auch wenn es noch an der einen oder anderen Stelle verbessert werden muss. Genau das sollte in einer zukünftigen Phase im Sinne des *Design-Based Research* bzw. der *Aktionsforschung* geschehen.

B. Abstract (English)

For decades, scientists have known that the climate of the Earth is changing faster than ever before, endangering our planet, not considering catastrophic events like asteroid impacts and the eruption of a supervolcano. However, it needed a young Swedish girl to wake up the world and raise awareness of the real dimensions of the ongoing climate change. Within the last years, discussions about climate change have intensified. In order to educate responsible and mature students, the decision-makers of tomorrow, who are able to find their way through the jungle of information and disinformation (Fake News), it is important to teach climate change in school based on scientific facts. However, detailed teaching concepts about that topic tailored to the eleventh grade in Physics are rare. In this diploma thesis such a teaching concept is presented for a unit of five lessons. This concept has already been applied in class and could therefore be evaluated by using methods of the *Design-Based Research* and *Action Research*, respectively.

The five lessons have the following main topics: (1) comparison of the climate history of the planets Venus, Earth, and Mars, (2) the greenhouse effect, (3) (inter-)national effects of the climate change, (4) measures taken against climate change, and (5) handling Fake News related to that topic. A varied use of didactic methods and the use of new media were also an important aspect of the concept. For the evaluation, an online test (10 questions) was performed right after the lessons and six months later. Furthermore, an interview with four students of that class was conducted also six months after the lessons had taken place. In addition to the questions related to the students' level of knowledge, questions were asked regarding their personal opinion about the concept (right after the lessons) and about climate change in general (six months after the lessons). Eventually, comments and suggestions of improvement by the mentor teacher were also included in the evaluation.




The first action item in the present concept was the joined development of a word cloud containing words that came to the mind of the students at the beginning of the first lesson. In the following lessons, this word cloud was a recurring feature being shown at the beginning of each lesson. It was used to give the students a preview of the following lesson. This approach gave the students the feeling that they were actively involved in the lesson planning. After evaluating the collected data, a strong connection between this emotional element and a long-term acquisition of knowledge could be noted.

All things considered, the presented teaching concept is practical and sustainable, even though some changes might be necessary at one point or the other. However,

according to *Design-Based Research* and *Action Research*, that would be a task for a future phase.

C. Unterlagen erste Unterrichtseinheit

C1. PowerPoint-Folien

 <p>Greta Thunberg</p>	<p>Was assoziiert ihr mit dem Begriff Klimawandel?</p>  <p>https://forms.gle/KFU16juaTpMPwJrd8</p>
<p>Venus Klimawandel auf Mars</p> <p>Erde</p> 	<p>Beantwortet folgende Fragen in den 3er-Gruppen:</p> <ul style="list-style-type: none">• Welche Ereignisse, die einen Klimawandel hervorriefen, haben die drei Planeten gemeinsam?• Welches Ereignis würdet ihr auf dem jeweiligen Planeten als das „schwerwiegendste“ einstufen?• Formuliert einen aktuellen, durchschnittlichen Wetterbericht auf den verschiedenen Planeten!



Erdzwilling mit Treibhauseffekt

(Quelle: <https://www.faz.net/aktuell/wissen/weltraum/venus-erdzwilling-mit-treibhauseffekt-1489942.html>, 28.11.2007)

Die Venus ist der Erde ähnlicher als bislang vermutet - und doch ist die eine Gluthölle, die andere vergleichsweise paradiesisch. Die europäische Raumsonde Venus Express hat Daten geliefert, die erklären, warum die beiden Planeten sich so unterschiedlich entwickelten.

Die Venus, wenngleich unser Nachbarplanet, war lange Zeit ein besonders mysteriöser Himmelskörper. Weil sie von einer für Lichtstrahlen undurchdringlichen Wolkenschicht umgeben ist, an deren Oberseite nach jetzt veröffentlichten Messdaten der europäischen Raumsonde Venus Express orkanartige Windgeschwindigkeiten von bis zu 360 Kilometern pro Stunde herrschen, konnte bis in die sechziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts hinein über die Verhältnisse an ihrer Oberfläche nur spekuliert werden. Man nahm an, dass es dort rund dreißig bis fünfzig Grad wärmer sei als bei uns, konnte sich aber nicht darauf einigen, ob der Planet von trockenen Wüsten oder gewaltigen Ozeanen geprägt sei.

Erst die Messungen der amerikanischen Raumsonde Mariner 2 im Jahr 1962 ließen erahnen, dass auf der Oberfläche der Venus extrem unwirtliche Verhältnisse herrschen - nach den heutigen Erkenntnissen mit Temperaturen von rund 460 bis 480 Grad Celsius und einem Druck von etwa 90 Atmosphären, was auf der Erde dem Wasserdruck in ungefähr 900 Metern Meerestiefe entspricht. Bei dieser Erkundung der geologischen Geschichte der Venus haben Planetologen versucht, die Klimageschichte des Planeten für die vergangene Milliarde Jahre zu rekonstruieren. Mit Hilfe detaillierter Computersimulationen erkannten sie, dass ein intensiver Vulkanismus großräumige klimatische Veränderungen ausgelöst haben muss. Die Venus besitzt, wie die Erde, aber im Gegensatz zu allen anderen bekannten Planeten, auch heute noch ein komplexes, sich weiterentwickelndes Klima. Venus Express hat in den vergangenen Monaten Messdaten geliefert, die zu verstehen helfen, warum sich Venus und Erde, die sich einst stark geähnelt haben dürften, so unterschiedlich entwickelten.

Gluthölle dank 42 Millionen Kilometern Unterschied

Dass die beiden Planeten trotz ihrer heutigen Unterschiede als Zwillinge gelten, liegt an den recht ähnlichen äußeren Parametern. Die Venus hat knapp 82 Prozent der Erdmasse und 86 Prozent des Erdvolumens, und ihr mittlerer Radius ist mit 6052 Kilometern nur geringfügig kleiner als jener der Erde, der 6371 Kilometer beträgt. Auch die Abstände von der Sonne - 108 Millionen Kilometer bei der Venus und 150 Millionen Kilometer bei der Erde - scheinen sich nicht erheblich zu unterscheiden. Und doch ist es gerade diese Entfernungsdifferenz, die aus der Venus eine Gluthölle und aus der Erde, zumindest im Vergleich, ein Paradies gemacht hat.

Am Anfang dürfte die Venus etwa ebenso viel Wasser wie die Erde und auch ungefähr ebenso viel Kohlendioxid wie unser Heimatplanet gehabt haben. Das legen schon einfache Überlegungen nahe. Aber auf der Venus war es von Anfang an wärmer, was aus der - wenn auch nicht wesentlich - unterschiedlichen Distanz zur Sonne folgt.

Deshalb verdampfte ein größerer Anteil des Wassers aus den Meeren, die es auch auf unserem kosmischen Nachbarn früher wohl gegeben hat, und baute eine Atmosphäre mit viel Wasserdampf auf.

Verdampfte Ozeane, schwerer Sauerstoff

Dieses erzeugte einen Treibhauseffekt. Auf der Venus wurde es heißer, die Ozeane verdampften. Der Wasserdampf in der oberen Atmosphäre wurde von der Sonnenstrahlung in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Der leichtere Wasserstoff und ein Teil des schwereren Sauerstoffs entwichen in den Weltraum, ein anderer Teil des Sauerstoffs wurde an die Gesteine gebunden.

Mit den Messdaten der Raumsonde Venus Express wurde bestätigt und erhärtet, was zwei amerikanische Pioneer-Venus-Sonden 1978 entdeckten: Auf der Venus ist das Verhältnis von schwerem Wasserstoff (Deuterium) zu normalem, leichterem Wasserstoff wesentlich größer als auf der Erde, was auf das Verschwinden besonders der leichten Anteile und somit auch auf ein allmähliches Verschwinden des Wassers zurückzuführen ist.

Wasser existiert nur noch in Spuren

Die Pioneer-Sonden maßen den hundert- bis hundertfünzigfachen Wert. Nach den Messungen der europäischen Sonde ist selbst der größere dieser beiden Werte eher noch zu klein, wie die beteiligten Wissenschaftler jetzt in der neuesten Ausgabe der Zeitschrift „Nature“ berichten. Wasser existiert auf der Venus nur noch in Spuren als Dampf und gebunden in Schwefelsäurewolken.

Zum ersten Mal sind mit Venus Express auch die in den Weltraum entweichenden Ionen - also die um je ein Elektron beraubten Atome und Moleküle - direkt „beobachtet“ worden. Es zeigte sich, dass vor allem die Ionen von atomarem Wasserstoff und atomarem Sauerstoff entweichen, und zwar in einem Verhältnis (1,9:1), wie es ungefähr in Wasser vorkommt. Vom Mars beispielsweise, der kleiner als die Venus ist und somit ein schwächeres Schwerfeld hat, verflüchtigen sich auch die schwereren Ionen des molekularen Sauerstoffs und des Kohlendioxids in größeren Mengen.

Auf der Venus ist das Kohlendioxid nur bis in die Atmosphäre gelangt, die heutzutage zu 96,5 Prozent aus diesem Treibhausgas besteht. Auf der Erde, wo sich wegen der niedrigeren Temperaturen Ozeane halten konnten, löste sich ein großer Teil des anfangs ebenfalls in der Atmosphäre gespeicherten Kohlendioxids im Meerwasser und lagerte sich dort in Kalksteinsedimenten ab. Aus Sicht der Venus ist deshalb der irdische Treibhauseffekt gering.



Klimawandel auf der Erde

(Quelle: https://www.planet-schule.de/mm/die-erde/Barrierefrei/pages/Warum_gibt_es_Eis-und_Warmzeiten_Natuerliche_Klimaveraenderungen.html#mainnavigation, 01.02.2019)

Auf dem Höhepunkt der letzten großen Eiszeit war es bitterkalt. Und zwar so kalt, dass ein Drittel der Landfläche unter dicken Eispanzern verschwand. All das liegt etwa 20.000 Jahre zurück. Im Lauf der Jahrtausende stiegen die Temperaturen wieder an. Heute leben wir in einer Warmzeit und nur noch zehn Prozent der Landfläche sind vereist. Doch es war bei weitem nicht die erste Klimaveränderung auf unserem Planeten. Seit die Erde vor 4,6 Milliarden Jahren entstand, wurde es mal wärmer und mal kälter – ganz ohne Beteiligung des Menschen. Aber warum?

Was die natürlichen Klimaveränderungen auslöst, versuchen Klimaforscher seit langem herauszufinden. Eine Erklärung dafür ist, dass die Erde beim Umkreisen der Sonne etwas „eiert“. Das kann man sich ähnlich vorstellen wie bei einem Kreisel, nur in viel größerem Maßstab. Sowohl die Neigung der Erdachse als auch die Umlaufbahn der Erde verschieben sich im Lauf von Jahrtausenden, und zwar in einem regelmäßigen Kreislauf. Durch dieses „Eiern“ ändern sich auch Menge und Verteilung der einstrahlenden Sonnenenergie. Über lange Zeiträume hinweg schwanken dadurch die Temperaturen und führen zu Eis- und Warmzeiten.

Auch die Verteilung der Kontinente spielt bei den Schwankungen eine Rolle. Denn ihre Lage hat sich im Lauf der Erdgeschichte ständig verschoben. Wenn große Landmassen den Nord- oder Südpol erreichten, konnten sich dort gewaltige Eismengen ansammeln. Das Eis reflektierte einen großen Teil der Sonnenstrahlen, es wurde noch kälter. Erst wenn sich der Kontinent wieder vom Pol entfernte, stiegen die Temperaturen und ein Ende der Eiszeit war in Sicht.

Die Zusammensetzung der Atmosphäre wirkt sich ebenfalls auf das Klima aus. Je größer der Anteil an Treibhausgasen, wie Kohlendioxid oder Wasserdampf, desto stärker heizt sich die Atmosphäre auf. Ihr Gasgemisch kann durch natürliche Vorgänge verändert werden, beispielsweise durch einen Vulkanausbruch. Spuckt ein Vulkan Feuer und Asche, werden dabei winzige Teilchen hoch in die Luft geschleudert, die Aerosole. Sie reflektieren die Sonnenstrahlen, bevor diese die Erdoberfläche erreichen. Die Temperatur auf der Erde sinkt – zumindest kurzfristig. So folgte dem Ausbruch des Vulkans Tambora im Jahr 1815 ein „Jahr ohne Sommer“. An der Ostküste Nordamerikas fegten damals, mitten in der wärmsten Jahreszeit, Schneestürme über das Land. Die Folge waren katastrophale Missernten.

Im Unterschied zu diesen natürlichen Klimaveränderungen im Lauf der Geschichte ist der aktuelle Klimawandel vom Menschen selbst verursacht. Dass die Durchschnittstemperatur seit gut 150 Jahren steigt, liegt vor allem daran, dass die Menschen immer mehr Kohlendioxid produzieren.

Die Erdzeitalter

Seit ihrer Entstehung hat sich die Erde stark verändert: Berge, Meere und Kontinente sind entstanden und vergangen, Tier- und Pflanzenarten haben sich ausgebreitet und sind ausgestorben. Die meisten dieser Veränderungen passierten sehr langsam, über viele Millionen Jahre hinweg. Aber ab und zu gab es einschneidende Ereignisse: Innerhalb weniger tausend Jahre änderten sich die Umweltbedingungen drastisch.

Für die Wissenschaftler, die die Geschichte der Erde erforschen, sind diese drastischen Veränderungen wie ein neues Kapitel in einem Buch: Sie unterteilen die Erdgeschichte in verschiedene Abschnitte, die Äonen genannt werden.

Zu Beginn, vor 4,5 Milliarden Jahren war die Erde völlig unbewohnbar. Sie entstand als eine heiße Kugel aus glühendem geschmolzenem Gestein, umgeben von heißen, ätzenden und giftigen Gasen. Das klingt wie eine Beschreibung der Hölle – und vom griechischen Wort „Hades“ für Hölle stammt auch der Name dieser Zeit: Hadaikum. Es endete vor etwa vier Milliarden Jahren mit der ersten großen Veränderung: Die Erde war so weit abgekühlt, dass die Oberfläche fest wurde – die Erde bekam eine Kruste. Im Hadaikum war die Erde eine Kugel aus flüssigem Gestein

Die Erde kühlte weiter ab, so dass sich auf der Kruste flüssiges Wasser sammeln konnte: Meere entstanden. Und in diesen Meeren begann vor etwa 3,8 Milliarden Jahren das Leben – zunächst aber nur in Form einfachster Bakterien. Das griechische Wort für Ursprung oder Beginn steckt im Namen dieser Zeit: Archaikum. Eine wichtige Klimaveränderung vor etwa 2,5 Milliarden Jahren markierte den Übergang zur nächsten Epoche: Die primitiven Lebewesen begannen, die Umwelt zu beeinflussen. Sie produzierten Sauerstoff, der bislang in der Atmosphäre fast gar nicht vorkam.

Es folgte das Proterozoikum, das Zeitalter der ein- und mehrzelligen Organismen. Dieses endete vor 550 Millionen Jahren mit einer Explosion des Lebens: Innerhalb kurzer Zeit entwickelte sich aus den primitiven Lebensformen eine enorme Artenvielfalt. Dieses Zeitalter des Lebens dauert seit 550 Millionen Jahren bis heute an. Allerdings verlief auch die Entwicklung des Lebens nicht gleichmäßig: Nach der explosionsartigen Ausbreitung des Lebens gab es zwei verheerende Massensterben. Diese markieren weitere wichtige Einschnitte in der Erdgeschichte, so dass Wissenschaftler das Zeitalter des Lebens, das Phanerozoikum in drei Abschnitte, Ären genannt, einteilen.

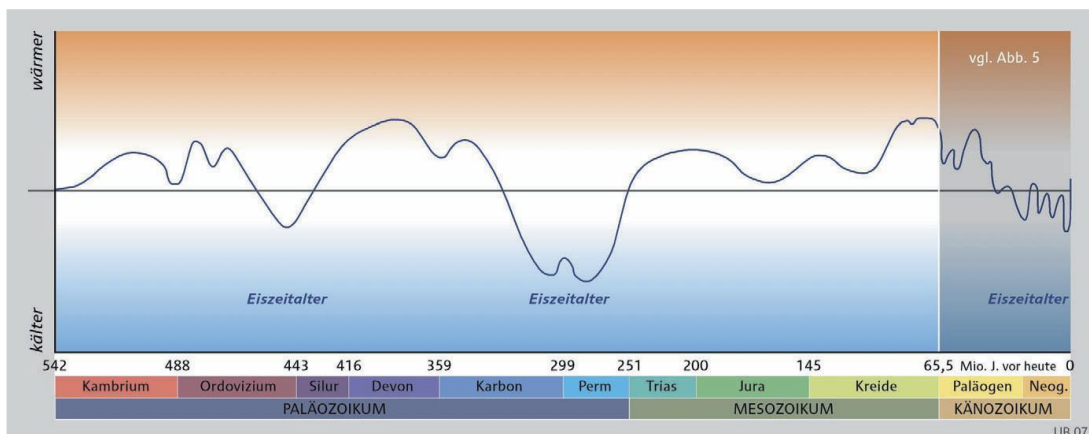
Die älteste Ära des Phanerozoikum begann vor 550 Millionen Jahren mit der massenhaften Entstehung neuer Arten. Man nennt sie das Erdaltertum oder Paläozoikum. Zunächst spielte sich das Leben nur in den Ozeanen ab. Dann besiedelten die Pflanzen das Land, später zog auch die Tierwelt nach: Zuerst entwickelten sich die Amphibien, die sich bereits ein wenig an Land vortasten konnten, und schließlich auch Reptilien, die unabhängig vom Wasser wurden und das Land eroberten. Das Erdaltertum endete vor etwa 251 Millionen Jahren mit dem größten Massensterben aller Zeiten: Über 90 Prozent aller Tier- und Pflanzenarten starben aus, vor allem in den Meeren. Der Grund ist bis heute nicht endgültig geklärt. Wissenschaftler vermuten, dass eine Eiszeit schuld war, möglicherweise als Folge eines Meteoriteneinschlags.

Als sich die überlebenden Tier- und Pflanzenarten an ihre neue Umwelt gewöhnen mussten, brach das Erdmittelalter oder Mesozoikum an. Es ist vor allem das Zeitalter

der Dinosaurier: Riesige Echten entwickelten sich und beherrschten das Leben fast 200 Millionen Jahre lang. Doch auch das Erdmittelalter endete mit einem einschneidenden Ereignis: Vor etwa 65 Millionen Jahren schlug ein großer Meteorit auf der Erde ein. Dabei wurde so viel Staub und Asche in die Luft geschleudert, dass sich der Himmel verdunkelte und sich das Klima für lange Zeit veränderte. Die Dinosaurier und viele andere Arten starben aus.

Davon profitierten vor allem kleine Säugetiere, die sich am besten an den Klimawandel anpassen konnten. Sie hatten sich bereits im Erdmittelalter entwickelt, waren aber im Schatten der Dinosaurier geblieben. Nun konnten sie sich rasant ausbreiten, die unterschiedlichsten Lebensräume erobern und sich immer weiter entwickeln. Auch der Mensch stammt von dieser Gruppe ab. Dieses jüngste Zeitalter hält bis heute an und wird daher auch die Erdneuzeit oder Känozoikum genannt.

Diese grobe Einteilung der Erdgeschichte orientiert sich an sehr einschneidenden Veränderungen des Lebens: Explosionsartige Vermehrung oder Massensterben. Dazwischen gab es aber weitere Umbrüche durch verschiedene andere Einflüsse – Veränderungen der Meere und Kontinente durch die Kontinentalverschiebung, Klimawandel zwischen Eis- und Warmzeiten, Zusammensetzung der Luft und vieles mehr. Immer bevorzugten die neuen Bedingungen einzelne Arten und benachteiligten andere. So können die drei Abschnitte des Phanerozoikum (Zeitalter des Lebens) noch jeweils in mehrere Perioden unterteilt werden.





Eisige Staubwüste ohne Wasser Wetter und Klima auf dem Mars

(Quelle: <https://www.wetteronline.de/astronews/eisige-staubwueste-ohne-wasser-wetter-und-klima-auf-dem-mars-2018-11-25-ma>, 25.11.2018)

Er ist nur halb so groß wie die Erde, doch auf dem Mars toben Staubstürme, die mitunter den ganzen Planeten verhüllen. An seinen Polen fällt zudem Schnee aus gefrorenem CO₂ und er beherbergt den größten Vulkan unseres Sonnensystems.

Kein anderer Planet unseres Sonnensystems hat die Fantasie des Menschen von jeher so sehr beflügelt wie der Mars. So meinte der italienische Astronom Giovanni Schiaparelli im neunzehnten Jahrhundert auf der Oberfläche des Mars ein umfangreiches System aus Linien und Kanälen entdeckt zu haben, das den vermeintlichen Bewohnern ganz offensichtlich zur Bewässerung dient. Wie wir heute wissen, ist unser roter Nachbarplanet jedoch ein eisiger und knochentrockener Ort mit äußerst lebensfeindlichen Wetter- und Klimabedingungen.

Die Oberfläche des Roten Planeten ist von Vulkanen, Ebenen und gewaltigen Canyons geprägt. Selbst in den tiefsten Schluchten erreicht der Luftdruck der dünnen Atmosphäre nicht mal ein Prozent des Luftdrucks der Erde.

So steigt die Temperatur selbst in den warmen Mittagsstunden nur selten über den Gefrierpunkt und sinkt nachts häufig auf 80 Grad unter Null. Noch eisiger geht es an den Polen zu, wo es im Winter bis zu minus 130 Grad kalt wird. Dort lagern gewaltige Kappen aus Trockeneis, unter denen sich hunderte Meter dicke Gletscher aus Wassereis verbergen. Halbwegs warm wird es nur rund um den Äquator, wo bei optimalen Wetterbedingungen kurzzeitig auch mal Werte über plus 20 Grad möglich sind. Dazu muss die Atmosphäre allerdings nahezu staubfrei sein.

Inzwischen weiß man aus spektroskopischen Messungen, dass die Polkappen am Nordpol vor allem aus Wassereis, am Südpol dagegen aus gefrorenem Kohlendioxid bestehen und langfristigen Veränderungen unterworfen sind. Was der Grund dafür ist und ob sich das polare Eis im Verlauf von Jahrzehnten ausdehnt oder zurückzieht, das sind bisher noch offene Fragen. Die Auswertung langer Zeitreihen von Satellitenbildern kann zur Beantwortung beitragen. Und dabei womöglich auch klären, ob es einen Zusammenhang zwischen Eisausbreitung und langfristigen Veränderungen in der Marsatmosphäre gibt. Das wäre dann mal eine Schlagzeile, die auch außerhalb der überschaubaren Menge an Experten für Aufmerksamkeit sorgen würde: Klimawandel auf dem Mars. Rund um die Polkappen des Mars bilden sich wie auf der Erde Hochs und Tiefs. Ihre Wetterfronten trennen unterschiedliche Luftmassen. Die Wolken bestehen aus aufgewirbeltem Staub und dünnen Cirrus-Schleiern.

Ein Marstag dauert mit rund 24 1/2 Stunden etwas länger als ein Tag auf der Erde. Und weil seine Achse derzeit mit 25 Grad eine ähnliche Neigung wie die Erdachse hat, gibt es auch auf dem Mars Jahreszeiten. Allerdings braucht der Rote Planet für einen Umlauf um die Sonne fast zwei Erdenjahre. Daher dauern seine Jahreszeiten auch doppelt so lang wie bei uns. Doch anders als die vom Mond stabilisierte Erdachse

torkelt die Achse des Mars unruhig durchs All. Das hat in der Geschichte des Planeten wiederholt enorme Klimaschwankungen ausgelöst.

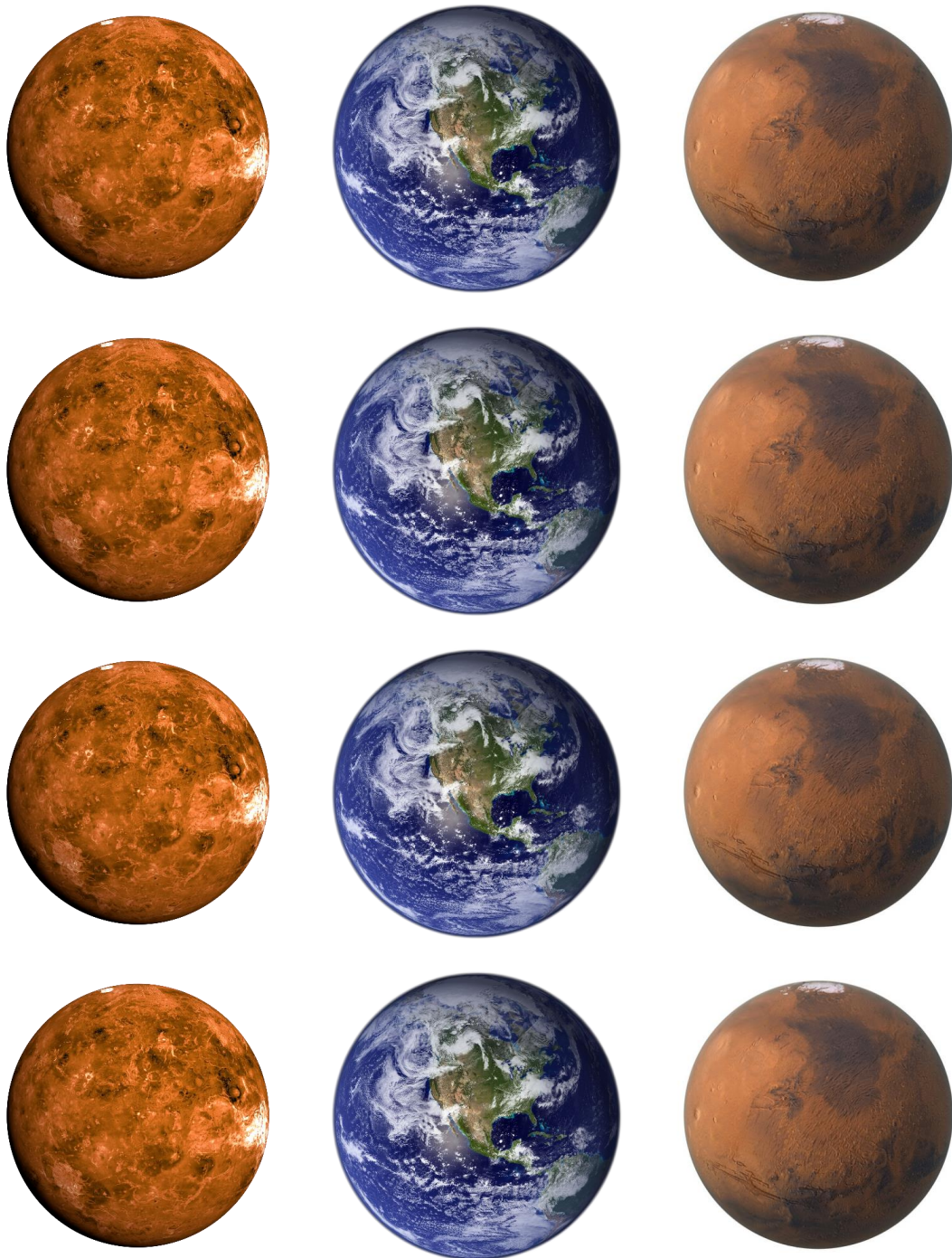
Einst gab es auf dem Mars flüssiges Wasser und ein lebensfreundliches Klima. Flüsse, Bäche, Wärme und eine reiche Vegetation mit blühenden Landschaften? Vermutlich nicht ganz. Jedoch ein kühles, trockenes Klima, das sich langsam erwärmte und allmählich feuchter wurde: Vor 3,8 bis 3,1 Milliarden Jahren bot der Mars Umweltbedingungen, die die Entstehung von Leben erlaubten - unser felsiger Nachbar war über viele Millionen Jahre lebensfreundlich. Das schließen Forscher aus Bodenanalysen des Marsrovers "Curiosity" der US-Raumfahrtbehörde Nasa. Die Daten liefern Belege für ein relativ stabiles Klima auf dem jungen Roten Planeten, das durch einen Klimawandel beendet wurde. Wegen der Nähe und Ähnlichkeiten zur Erde spekuliert die Menschheit seit Jahrhunderten über die Möglichkeit von Leben auf dem Mars. Unser äußerer Nachbarplanet ist vor allem für Erkenntnisse über die Ursprünge von Leben interessant, da er der frühen Erde recht ähnlich ist. Es ist kalt, es gibt keine Plattentektonik und keine Kontinentalverschiebungen - seit dem Ende des Mars-Zeitalters des Hesperian, in dem sich der Rote Planet in eine kalte Staubwüste verwandelte, ist er größtenteils unverändert. Zu dieser Zeit schwand das Magnetfeld und mit ihm die Atmosphäre und ein Großteil des Wassers. Seither ist der Planet eine lebensfeindliche Staubwüste.

Kurz nach seiner Entstehung gab es auf dem Mars reichlich Wasser und eine dichte Atmosphäre ermöglichte vermutlich sogar ein lebensfreundliches Klima. Doch weil sich der Kern des kleinen Planeten rasch abkühlte verlor der Dynamoeffekt seine Wirkung, sodass das Magnetfeld zusammenbrach. Damit konnte der Sonnenwind die Atmosphäre ins All blasen und der Planet verwandelte sich in die eisige Staubwüste, die er noch heute ist. Wasserdampf ist in seiner Atmosphäre seither nur noch ein Spurengas, aus dem sich nur selten dünne Eiswolken formen.

Staubteufel können auf dem Mars bis zu zehn Kilometer hoch werden und gleichen dann irdischen Tornados. Solche Luftwirbel sind auf dem Mars sehr häufig und treten oft sogar in ganzen Gruppen auf.

Dafür geht es beim Wind umso turbulenter zu: Mächtige Staubteufel schrauben sich bis zu zehn Kilometer hoch in die Atmosphäre und gleichen dann eher starken Tornados als harmlosen Luftwirbeln. Zudem bilden sich besonders im Frühling oft großräumige Stürme mit Windgeschwindigkeiten von 400 Kilometer pro Stunde und mehr. Sie wachsen sich nicht selten zu globalen Sandstürmen aus, die den ganzen Planeten wochenlang in dicke Staubschleier hüllen. Sogar elektrostatische Entladungen in Form von Blitzen wurden in solchen Staubstürmen schon beobachtet.

C3. Planeten-Kärtchen



1

1

1

2

2

2

3

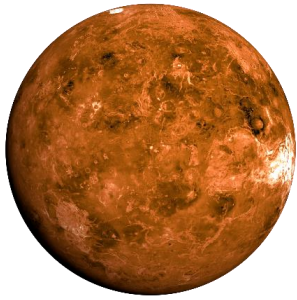
3

3

4

4

4



5

5

5

6

6

6

7

7

7

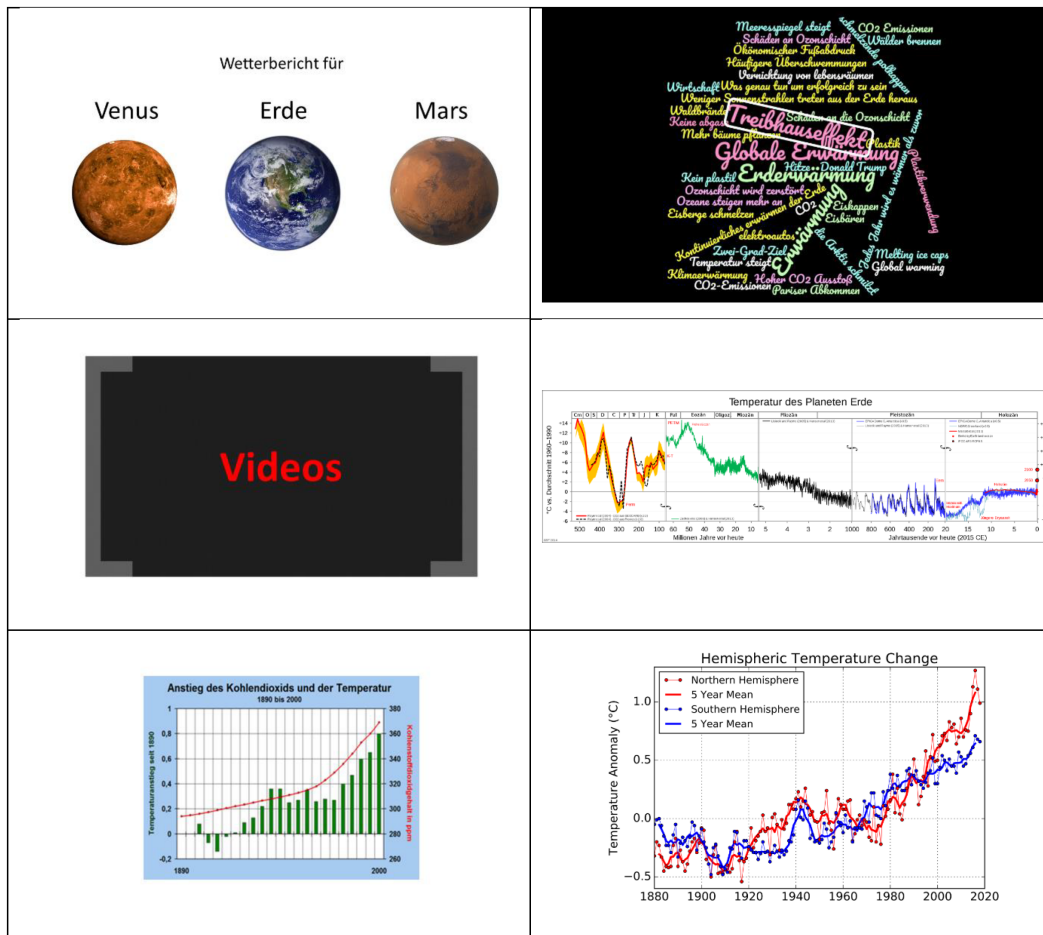
8

8

8

D. Unterlagen zweite Unterrichtseinheit

D1. PowerPoint-Folien



D2. "1, 2, oder 3"-Folien

Das Thermometer **außerhalb** der Schüssel zeigt nach einiger Zeit eine höhere Temperatur an.



Die Thermometer zeigen immer dieselbe Temperatur an.



Das Thermometer **unter** der Schüssel zeigt nach einiger Zeit eine höhere Temperatur an.



Der anthropogene Treibhauseffekt

Video zum Nachschauen: <https://www.youtube.com/watch?v=q1wP42f5GAc>

1. Teil:

Was versteht man unter dem Begriff „anthropogene Treibhausgase“?

Welche Gase gelten als Treibhausgase?

Welche Durchschnittstemperatur würde auf der Erde herrschen, wenn es keinen natürlichen Treibhauseffekt geben würde?

Wodurch wird CO₂ produziert?



2. Teil:

Wie wird der Treibhauseffekt noch genannt?

Erkläre kurz (in ganzen Sätzen), wie der Treibhauseffekt funktioniert- verwende dabei folgende Worte: Atmosphäre, UV-Strahlen, reflektieren, Sonne, IR-Strahlung, Treibhausgase, absorbieren.

Welchen Einfluss hat der Mensch (und sein Handeln) auf den Treibhauseffekt?

3. Teil:

Ordne die Treibhausgase ihrer Stärke nach: N₂O, CH₄, FCKWs, CO₂, O₃.

Warum wird dennoch vor allem über den CO₂-Ausstoß gesprochen?

E. Unterlagen dritte Unterrichtseinheit

E1. PowerPoint-Folien

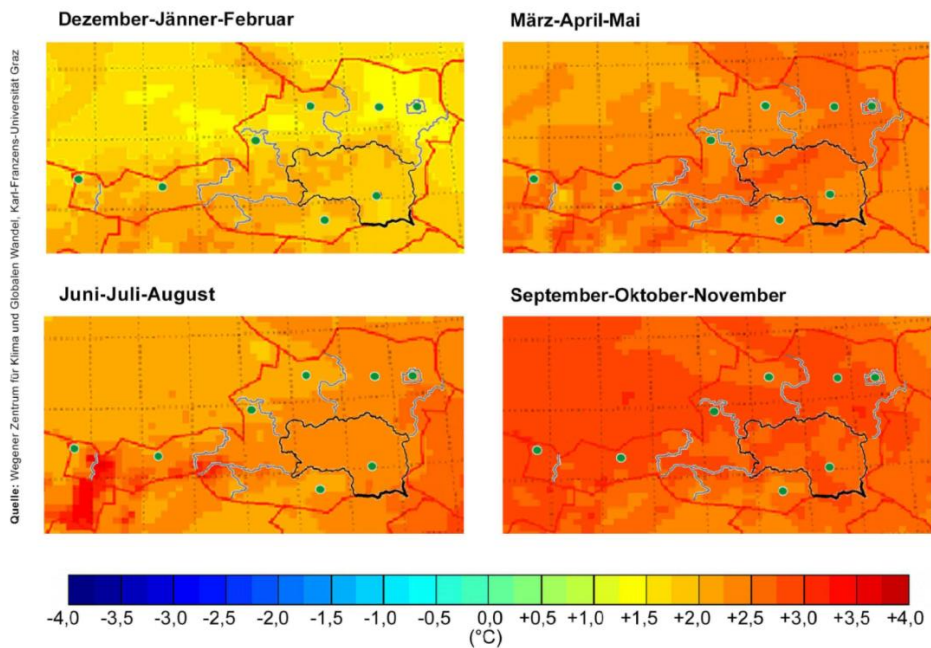
 A word cloud on a black background with various terms related to climate change in different colors. The most prominent words are 'Treibhauseffekt', 'Globale Erwärmung', and 'Erderwärmung'. Other visible words include 'CO2 Emissionen', 'Meeresspiegel steigt', 'Schäden an Ökosystemen', 'Klimawandel', 'Wälder brennen', 'Hochwasser Überschwemmungen', 'Vernichtung von Lebensräumen', 'Wirtschaft Was genau tun um erfolgreich zu sein', 'Wärmende Sonnenstrahlen treffen auf den Erdboden', 'Waldsterben', 'Keine abgase', 'Mehr Bäume pflanzen', 'Kein plausibel', 'Ozeane steigen mehr an', 'Eisberge schmelzen', 'Lichtbrechung', 'Zwei-Grad-Ziel', 'Temperatur steigt', 'Klimawandel', 'CO2 Emissionen', 'Paris Abkommen', 'Melting ice caps', 'Global warming', 'Erdboden', 'Wälder brennen', 'Hochwasser Überschwemmungen', 'Vernichtung von Lebensräumen', 'Wirtschaft Was genau tun um erfolgreich zu sein', 'Wärmende Sonnenstrahlen treffen auf den Erdboden', 'Waldsterben', 'Keine abgase', 'Mehr Bäume pflanzen', 'Kein plausibel', 'Ozeane steigen mehr an', 'Eisberge schmelzen', 'Lichtbrechung', 'Zwei-Grad-Ziel', 'Temperatur steigt', 'Klimawandel', 'CO2 Emissionen', 'Paris Abkommen'.	 A black square with a large white circle in the center. Inside the circle, the text '5:00' is written in white, indicating a five-minute timer.
<p>Wenn das Eis auf den Polen schmilzt, was passiert mit dem Eisbären, was mit dem Pinguin und bei beiden Szenarien mit den Häusern?</p>	<p>Bis zum nächsten Mal: CO₂ Rechner (www.co2-rechner.at)</p> <p>Ergebnisse hier eintragen: https://forms.gle/XnNrZKuPDfEqKFDy6</p>  A square QR code located at the bottom of the right-hand cell, which likely links to the CO2 calculator or the form mentioned in the text above it.

Station 1:

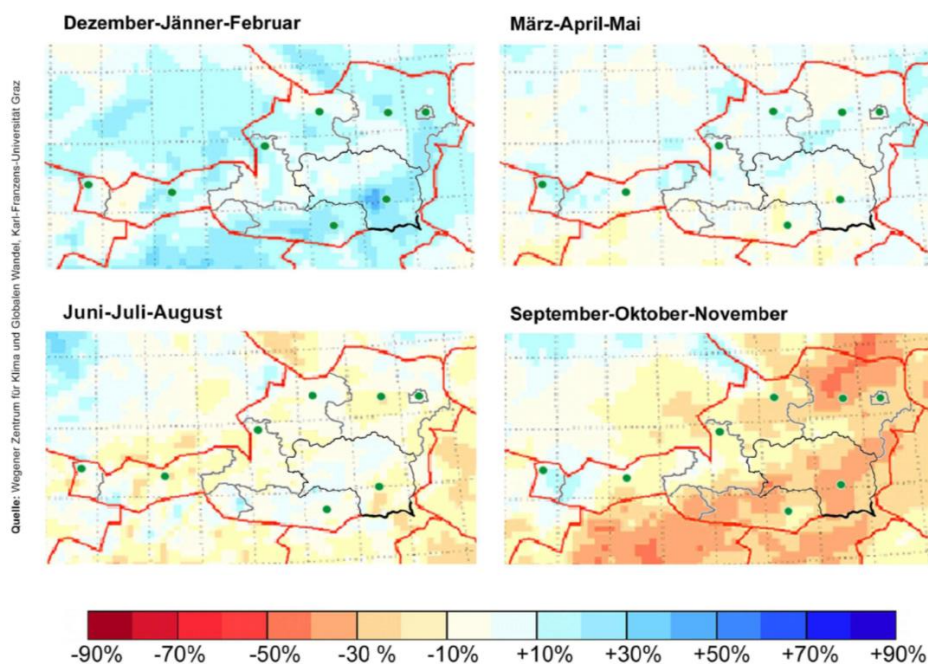
Wie ändern sich Temperatur und Niederschläge?

Bearbeitet das beiliegende Arbeitsblatt.

Jahrestemperaturänderungen von 1981-1990 bis 2041-50



Niederschlagsänderungen von 1981-1990 bis 2041-50



Wie ändern sich Temperatur und Niederschläge

Versuche folgende Aufgaben zu lösen:

1. Wie ändern sich Temperatur und Niederschläge in eurem Schulort bis in die Dekade 2041-50?

	Niederschläge (Änderung in %)	Jahrestemperatur (Änderung in °C)
Dezember-Jänner-Februar		
März-April-Mai		
Juni-Juli-August		
September-Oktober-November		

2. In welchem Bundesland und in welcher Jahreszeit nehmen die Niederschläge am meisten zu?

Antwort:

In _____ (Bundesland eintragen) in den Monaten _____

3. In welchem Bundesland und in welcher Jahreszeit nehmen die Niederschläge am meisten ab?

Antwort:

In _____ (Bundesland eintragen) in den Monaten _____

4. In welchem Bundesland und in welcher Jahreszeit nehmen die Temperaturen am meisten zu?

Antwort:

In _____ (Bundesland eintragen) in den Monaten _____

Station 2:

Die Auswirkungen des Klimawandels und du

Überlegt kurz: Habt ihr selbst auch schon Auswirkungen des Klimawandels in eurem eigenen Leben gespürt? Welche waren das?

Tauscht euch über eure Erfahrungen aus. Bei welchen Erfahrungen und Beobachtungen kann man wirklich sagen, dass sie dem Klimawandel zuzuschreiben sind, bei welchen ist das nicht so sicher?

Warum?

Schreibt die wichtigsten Punkte dazu in euer Heft.

Station 3:

Insellösung

Lest den beiliegenden Artikel aus der Zeitschrift *fluter* (Ausgabe 70, Frühjahr 2019, S. 29). Beantwortet folgende Fragen in eurem Heft (ihr könnt auch zum Thema im Internet recherchieren).

- 1) Skizziert den pazifischen Ozean und zeichnet den Inselstaat Kiribati ein.
- 2) Ermittelt, wann Kiribati gemäß Vorhersagen vollständig unter Wasser liegen könnte.
- 3) Erläutert, was man unter dem Begriff „Klimaflüchtlinge“ versteht?
- 4) Recherchiert, in welchem Zusammenhang Sigeo Alesana und seine Familie zu dem Thema steht.
- 5) Gebt weitere Gründe an, weshalb Menschen zu Klimaflüchtlingen werden müssen.

Wann kommt die Flut? Viele Menschen,
die auf Inseln leben, müssen mit
dem Untergang ihrer Heimat rechnen.
Etwa auch hier auf Ghoramara im
Gangesdelta in Indien



Insellösung

Der pazifische Inselstaat Kiribati ragt zu einem großen Teil nur weniger als zwei Meter aus dem Wasser und leidet schon heute darunter, dass durch vermehrte Überschwemmungen die Böden versalzen und für Landwirtschaft unbrauchbar werden. Deshalb hat die Regierung Kiribatis auf den benachbarten, mehrheitlich höher gelegenen Fidschi-Inseln für umgerechnet etwa 6,5 Millionen Euro über 2.200 Hektar Land gekauft. Offiziell dienen diese Ländereien erst mal dazu, die Versorgung der Kiribatier mit Nahrungsmitteln sicherzustellen. Denn höchstens Teile der 118.000 Bewohner könnten dorthin umgesiedelt werden,

sollte ihr Inselreich ganz im Meer untergehen – der Kauf ist vor allem ein Hilfeschrei nach internationaler Aufmerksamkeit. Der frühere Staatschef Anote Tong will seine Landsleute nicht zu Klimaflüchtlingen werden lassen – denn als solche haben sie bisher noch keine Asylrechte. Deswegen forderte er vor dem Pariser Klimagipfel eine „Migration in Würde“. Kiribati soll für den schlimmsten Fall vorbereitet sein. Gleichwohl ist an diesen Plänen vieles noch völkerrechtlich ungeklärt. Zum Beispiel, ob das erworbene Territorium einmal Staatsgebiet Kiribatis werden kann und welcher Nationalität die Neuankömmlinge angehören sollen.

29

aus: *fluter* (Ausgabe 70, Frühjahr 2019, S. 29)

Station 4:

Klimawandel und Tourismus in Österreich

Nachfolgend findet ihr einen Ausschnitt aus dem Dokument zur Partnerschaftsvereinbarung "STRAT.AT 2020", die zwischen Österreich und der Europäischen Kommission abgeschlossen wurde.

„Österreich ist zum Einen durch die hohe Bedeutung besonders klimasensitiver Wirtschaftssektoren (Land- und Forstwirtschaft sowie Tourismus) und zum Anderen durch seine geographische Lage im Alpenraum sehr exponiert gegenüber dem Klimawandel. So ist beispielsweise der Temperaturanstieg in den Alpen seit Beginn der Industrialisierung rund doppelt so hoch wie im globalen Mittel. Misslingt der Versuch, den Klimawandel in erträglichen Bandbreiten zu halten, so werden die Kosten für die Klimawandelanpassung auch in Österreich steigen, weil dann verstärkt in technische Anpassungsmaßnahmen investiert werden muss, um Infrastrukturen, Siedlungen und Ökosysteme bspw. vor Gefährdungen durch Hochwasser oder Steinschlag oder durch saisonale Wasserknappheit zu schützen.“ [STRAT AT 2020, S. 33]

Diskutiert, welche konkreten Auswirkungen der Klimawandel auf die Wirtschaftssektoren Land- und Forstwirtschaft sowie Tourismus haben könnte/wird. Schreibt die wichtigsten Punkte dazu in euer Heft.

F2. Wortlisten

1. Konsum

- Graue Energie
- Nutzung von elektronischen Geräten
- Teilen/Borgen statt kaufen (z.B. Carsharing)
- Second Hand (Gebrauchtwaren)
- klimaneutral

2. Verkehr

- Jeweils 3 Vor- und Nachteile von Elektroautos
- Flugreisen
- Öffentliches Verkehrsnetz
- Autoverbot in Städten
- Dieselskandal

3. Ernährung

- Tierische Produkte
- Tierhaltung
- Futtermittelproblematik
- Regionale und Bio-Produkte

4. Internet & Smartphones

- Seltene Erden
- Energieverbrauch
- Green IT
- alternative Suchmaschinen (z.B. "Ecosia" oder "Forestle")

5. Abfall

- Recycling / Reparatur
- (Mikro)plastik im Meer
- Mülltrennung
- 3 Tipps zur Müllreduzierung

6. Kyoto-Protokoll & Pariser Übereinkommen

- Zwei Grad Ziel (bzw. 1.5°C)
- Ratifikation (Hinweis auf USA und Kanada)
- Reduktionsziele (global und für Österreich)
- Post-Kyoto-Prozess
- UN-Klimakonferenzen
- Erfolgsaussichten (Kritik!)

F3. profil-Artikel



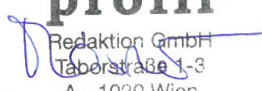
REDAKTION
Profil Redaktion GmbH
Taborstraße 1-3
A-1020 Wien
Tel.: 01/534 70-0
Fax: 01/534 70-3500

Dr. Ruth-Sophie Taubner
Department für Funktionelle und Evolutionäre Ökologie
Universität Wien

Wien, am 14.01.2020

Gerne geben wir die Genehmigung, den Text des Artikels
„Verzichtserklärung“, erschienen in profil Nr. 19 vom 5. Mai 2019 unter
Quellenangabe im Rahmen Ihrer Diplomarbeit zu verwenden.

Mit liebe Grüßen,

profil

Redaktion GmbH
Taborstraße 1-3
A-1020 Wien
Beate Maisner

Redaktion profil

redaktion@profil.at
Bankverbindung: RZB 1-00.701.805, BLZ 31000, FB Nr. 206436h/HG Wien, Firmensitz Wien, UST-Identifikationsnr.: ATU 51278102

TITEL

VERZICHTS- ERKLÄRUNG

Wenn man in den 1970er-Jahren zur Schule ging, konnte es vorkommen, dass einem ein Klassenkamerad frech die Mütze über die Augen zog und rief: „Licht sparen, hat der Kreisky gesagt!“ Es herrschte Ölkrise, es gab verpflichtende autofreie Tage, der Ministerrat untersagte Ämtern, über 20 Grad Celsius einzuheizen, die Sommerzeit wurde eingeführt und eine Woche „Energieferien“ im Winter, in denen Rodeln angesagt war – Schnee gab es schließlich fast immer.

Das Öl sprudelte rasch wieder, wärmte die Amtsräume und beschleunigte die seit der Industrialisierung fortschreitende globale Erwärmung. Heute müssen die Stadtkinder zum Rodeln in die umliegenden Berge chauffiert werden. Im Sommer jagt ein Hitzerekord den nächsten, Trockenperioden verursachen selbst in Österreich massive Ernteaussfälle. Der Wald ist heuer schon im Frühling so trocken, dass eine weggeworfene Zigarette ihn entzünden kann. Und sogenannte Jahrhunderthochwässer treten im Zehnjahrestakt auf.

Laut Klimaforschern ist dies erst der Anfang. Die Staatengemeinschaft hat ihnen immerhin Gehör geschenkt, in Paris 2015 Courage gezeigt und sich das Ziel gesetzt, den globalen Temperaturanstieg auf 1,5 Grad Celsius zu begrenzen. Dafür ist es nötig, die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 45 Prozent zu reduzieren und bis 2050 komplett einzustellen. „Dazu müssen fast alle Bereiche des Lebens umgekrempelt werden: wie wir wohnen, essen, uns fortbewegen, was wir konsumieren. Technische Lösungen allein werden nicht ausreichen, wir müssen unser Verhalten ändern“, erklärte Niklas Höhne von der Wageningen Universität in den Niederlanden schon damals.

Die CO₂-Emissionen und der Ressourcenverbrauch steigen seither dennoch beständig weiter. Jahre verstrichen nach der Paris-Konferenz ungenutzt. Noch dazu kamen in Österreich, Europa und Übersee immer mehr Klimaleugner in die Regierungen, die über die globale Erwärmung spötteln und so tun, als wäre nicht längst bewiesen, dass sie vom Menschen verursacht ist, der damit die eigene Lebensgrundlage zerstört.

Das fand unter anderem ein Teenager aus Schweden gar nicht cool. Greta Thunberg organisierte Schulstreiks und Demonstrationen, um von der Politik einzufordern, dass sie die Klimaziele von Paris

Wollen wir den Klimawandel aufhalten, gibt es nur einen Weg: Jeder einzelne von uns muss sein Leben völlig umkrempeln und sich auf noch unvorstellbare Art und Weise einschränken – beim Konsum, bei Mobilität und digitalen Medien, beim Reisen und Wohnen. Kann das funktionieren?

VON JOCHEN STADLER

einhält. Millionen von Schülern und Studenten folgten ihr. Sie gehen weltweit auf die Straße und schwänzen zwecks Klimarettung freitags die Schule. Am 28. Mai kommt die 16-Jährige zum Austrian World Summit nach Wien und will neben Arnold Schwarzenegger bei einem öffentlichen „Climate Kirtag“ am Heldenplatz eine Brandrede zum Thema halten.

So wie die schwedische Aktivistin 33 Stunden Zugfahrt zum Weltwirtschaftsforum nach Davos in Kauf nahm, statt per Flieger in zweieinhalb Stunden anzureisen, kann jeder sein Handeln klimafreundlicher gestalten. Allerdings: Ein bisschen Klimakosmetik ist zu wenig. Wenn es uns ernst ist, müssen wir unsere Lebensgewohnheiten radikal und dauerhaft ändern. Das mag nicht sonderlich komfortabel sein, doch wollen wir die Erde als bewohnbaren Planeten erhalten, Klimakriege und Katastrophen vermeiden oder zumindest abschwächen, gibt es schlicht keine Alternativen.

Grazer Forscher identifizierten nun erstmals sieben zentrale Bereiche, bezifferten deren Anteil an den CO₂-Emissionen und stellten fest, wie jeder einzelne Österreicher seinen derzeit übergroßen Treibhausgasfußabdruck schmälern kann.

BUCKGETIMAGES

1 Konsum drastisch reduzieren

Einsparungspotenzial: 41 Prozent

Wir leben in einer Konsumgesellschaft. Das bekommt die Erde deutlich zu spüren. Bisher unbekannt war der Umstand, dass 41 Prozent der von Menschen verursachten Treibhausgasemissionen eine direkte Folge unserer Kaufkraft sind. Wir haben Schränke voller Kleider, Schuhe, Freizeitausrüstung, riesiger Flachbildfernseher, Handys und Tablets. In der Garage steht mindestens ein Auto nebst Mountain Bikes und Scootern. Und wir kaufen immer mehr: Bis 2050 werden die Menschen in wohlhabenden Ländern sogar noch um 80 Prozent mehr Geräte anschaffen, prognostizieren Forscher.

Es existiert leider keine seriöse Berechnung, wie stark wir uns in dem Bereich einschränken müssen, wie viele Güter weniger wir also kaufen dürfen und um wie viel länger als bisher wir unsere Erwerbungen benutzen müssen. Angesichts der Bedeutung dieser Sparte gilt allerdings klar: Größtmögliche Bescheidenheit ist angesagt.

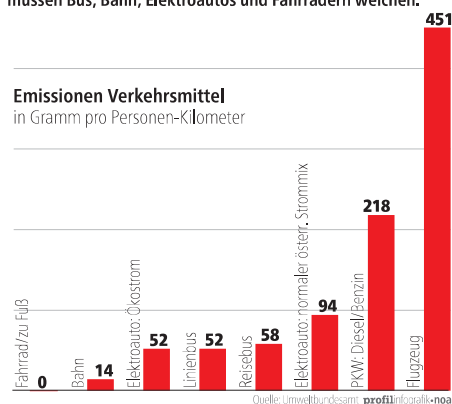
Selbst wenn die Industrie die Produktion immer klimafreundlicher gestaltet, lässt sich der Treibhausgasausstoß dadurch nicht reduzieren. Zudem sind die konsumbezogenen Emissionen nur zum Teil in nationalen Bilanzen abgebildet, sagt Gerfried Jungmeier von der Forschungsgruppe Zukunftsfähige Energiesysteme und Lebensstile von Joanneum Research in Graz. Dort scheint nur auf, was physisch in Österreich stattfindet – nicht aber die Emissionen in den Herstellungsländern sowie der Transport von Autos, Kleidungsstücken oder Elektrogeräten. Laut nationalen Bilanzen verursacht ein Österreicher im Schnitt zehn Tonnen Treibhausgas pro Jahr. Damit sind wir bereits im unrühmlichen oberen Mittelfeld. Laut den konsumbezogenen Bilanzen sind es sogar 15 Tonnen.

Um den Klimawandel zu stoppen, müssen wir unseren Konsum radikal einschränken. Anstatt ständig die neuesten und modischsten Dinge besitzen zu wollen, müssen wir Autos, Elektrogeräte und Bekleidung bis zum Ende ihrer Lebensdauer verwenden. Selbst wenn neue Fahrzeuge und Geräte weniger Sprit und Strom benötigen als die alten, verursacht ihre Herstellung viel mehr Treibhausgase, als man durch deren geringeren Verbrauch je wettmachen könnte.

Fazit: Das notwendige Konzept der Zukunft lautet: benutzen statt besitzen. Dazu zählen gemeinschaftliche Fahrzeugflotten, die möglichst gut ausgelastet sind, und Leihservices für Geräte aller Art. Wir müssen uns radikal von der Sehnsucht nach immer mehr neuen, tollen Gütern verabschieden und bei unvermeidlichen Käufen darauf achten, dass die Produkte klimaneutral produziert und transportiert werden – und sie bis an ihr Lebensende benutzen und nicht nur, bis eine neue Mode zur Anschaffung verleitet. Es muss ein soziales Umdenken stattfinden: Erstrebenswert sollte sein, sparsamer zu leben als der Nachbar – und nicht mehr zu besitzen als er. CO₂-Steuern müssen außerdem gesetzlich auf die Produktkosten aufgeschlagen werden. Konsum muss also teuer sein.

CO₂-Schuhgrößen der Mobilität

Fliegen und Verbrennungsmotorautos sind Klimasünder, und müssen Bus, Bahn, Elektroautos und Fahrrädern weichen.



2

Auslaufmodell Individualverkehr

Einsparungspotenzial: 25 Prozent

Will man griffige Maßnahmen gegen unvermeidbaren Schadstoffausstoß im Verkehr ergreifen, muss man es machen wie Norwegen: Ab 2025 werden dort keine Neuwagen mit Verbrennungsmotor mehr zugelassen. In jedem Fall werden sich die Menschen abgewöhnen müssen, ständig mit dem Auto zu fahren – urbane Gebiete müssen zwangsläufig zu autofeindlichen Zonen werden, ob es uns gefällt oder nicht. Stattdessen werden wir uns damit anfreunden müssen, mehr zu Fuß unterwegs zu sein und in die Pedale zu treten. Städte wie Kopenhagen machen es vor, in denen der Planungsfokus auf einem weitläufigen Radwegenetz liegt. Zudem können Elektrofahrräder mittellange Wege erleichtern. In der Fachwelt war man zunächst uneinig, ob sie lediglich Freizeitausflüge muskelkraftsparender machen und somit ein zusätzlicher Verbraucher sind, oder ob die Menschen damit Autofahrten ersetzen. Laut Mobilitätsbefragungen ist Letzteres der Fall. Somit sind Elektroräder „ganz eindeutig ein Schritt in die richtige Richtung“, erklärt Günther Lichtblau vom Umweltbundesamt.

Weitere Strecken sollte man möglichst mit öffentlichen Verkehrsmitteln bewältigen, sagt er: „Sie steigen in Österreich bezüglich der Klimabilanz sehr gut aus, denn wir haben einen sehr hohen Anteil an elektrifizierten Systemen wie Eisen- und Straßenbahnen, und ein sehr hoher Prozentsatz des Stroms kommt aus erneuerbaren Quellen wie Wasserkraft.“ Bei Autos mit Diesel- und Benzin-Verbrennungsmotoren hat jeder Kilometer pro Person einen viermal so hohen CO₂-Ausstoß wie ein öffentlicher Bus, und einen 15-fach höheren als eine Zugfahrt. Will man nicht komplett auf motorisierten Individualverkehr verzichten, bleiben nur Elektroautos, sagt Lichtblau. Einerseits seien Elektromotoren viel effizienter als Verbrennungskraftmaschinen, und bei Strom kann man erneuerbare, klimaneutrale Energie einsetzen. Weil die Akku-Herstellung sehr energieintensiv ist, haben Elektroautos bei der Herstellung zwar einen höheren CO₂-Fußabdruck, aber dieser wird im Betrieb kompensiert. Beim Betrieb mit Ökostrom sind die Kohlenstoff-Emissionen insgesamt um ein Viertel geringer als bei einem Benziner oder Dieselauto.

So unerfreulich es klingt, aber auf Flugreisen wird man de facto verzichten müssen. „Der Flugverkehr ist von der Treibhausgasbilanz ganz schlecht, denn man muss hier große Massen auf hohe Geschwindigkeiten bringen“, erklärt Lichtblau. Außerdem haben die Emissionen der Maschinen in 10.000 Meter Reiseflughöhe eine fast dreimal so hohe Treibhausgaswirksamkeit wie am Boden. Private Langstreckenflüge müssten verpönt sein. Geschäftsreisen können durch Videokonferenzen ersetzt werden, Kurzstreckenflüge durch Zugfahrten.

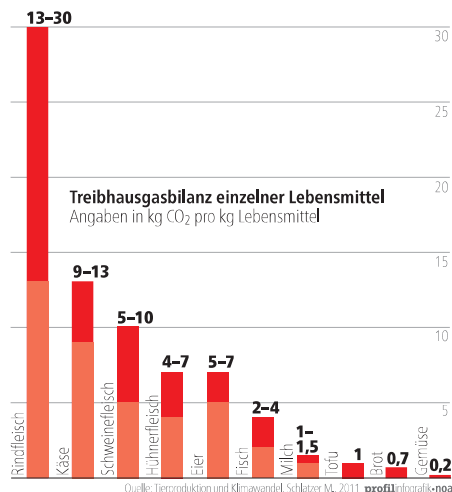
Fazit: In Zukunft müssen wir kurze Strecken zu Fuß und mit dem Fahrrad erledigen. Der tägliche Weg

zur Arbeit und zur Schule wird nicht in Individualmobilen erfolgen können. Autoverkehr innerhalb der Stadt wird quasi verunmöglicht, Parkplätze weichen Radwegen. Statt in privaten Autos mit Verbrennungsmotor müssen wir auf gemeinschaftlich genutzte Elektromobile umschwenken. Flugreisen sind weitgehend tabu.

Massiven Nachholbedarf hat die öffentliche Hand: Es darf nicht sein, dass Städte wie Zwettl nicht ans Bahnnetz angebunden und ganze Landstriche überhaupt vom öffentlichen Verkehr abgeschnitten sind, und es darf auch nicht sein, dass der Bahnverkehr ins Umland einer internationalen Großstadt wie Wien um Mitternacht endet. Mit anderen Worten: Soll der Klimawandel wirklich effektiv bekämpft werden, muss in öffentlichen Personenverkehr investiert werden, und die Menschen müssen gleichzeitig gezwungen sein, dieses Angebot auch zu nutzen.



TITEL



Viehhaltung belastet das Klima

Fleisch, Eier und Milchprodukte verursachen viel mehr Treibhausgasemissionen als pflanzliche Produkte.

3 Fleisch wird zum Luxusmenü

Einsparungspotenzial: 11 Prozent

Für viele Österreicher sind Mahlzeiten ohne Fleisch unvorstellbar. Man könne sich doch, heißt es, nicht nur von „Beilagen“ ernähren. Das müssen die Österreicher aber in Zukunft vorwiegend tun, wollen sie die Erde nicht noch mehr aufheizen. Tierische Produkte haben eine gravierend schlechtere Treibhausgasbilanz als Veggie-Food. Nur ein Sechstel des Nährwerts, den man in Tiere investiert, kommt am Teller an. Den Rest verbrauchen sie im Laufe ihres kurzen, eintönigen Lebens, und beim Schlachten bleibt auch einiges auf der Strecke. Pflanzliche Produkte haben eine im Schnitt 20 bis 30 Mal bessere Treibhausgasbilanz, sagt Martin Schlatter vom Zentrum für Globalen Wandel und Nachhaltigkeit der Universität für Bodenkultur in Wien.

Nicht nur Fleisch und Wurst, auch andere tierische Produkte sind klimaunverträglich, vor allem Eier und weiterverarbeitete Milchprodukte. Erstere haben eine genauso schlechte Klimabilanz wie Hühnerfleisch. Käse hat einen zehnfach größeren Fußabdruck als die Ausgangsprodukte Milch oder Joghurt, weil rund zehn Liter pro Kilo für seine Herstellung benötigt werden. Käsekonsum hinterlässt sogar mehr Treibhausgase in der Atmosphäre als jener von Schweinefleisch.

Die gewaltigsten Auswirkungen pro Kilogramm hat aber der Genuss von Rindfleisch. In den Industrieländern werden viele Fleischkühe mit großen Mengen Kraftfutter aus Soja und Mais genährt, damit sie schnell hohe Erträge liefern. Dafür werden Regenwälder abgeholzt und große Flächen genutzt, auf denen man Lebensmittel für Menschen anbauen könnte. So werden laut Welternährungsorganisation (FAO) mit 40 Prozent der Weltgetreideernte und 90 Prozent der Weltsojaernte Tiere verköstigt. Österreich importiert jedes Jahr eine halbe Million Tonnen Sojafuttermittel aus Argentinien, Brasilien und den USA, so Schlatter. Dort werden für den Anbau Tropenwälder gerodet, was Unmengen an Treibhausgasen freisetzt.

Mit Kollegen hat der Forscher errechnet, wie man auf diese Importe verzichten könnte: Essen die Österreicher um ein Fünftel weniger Fleisch, würde der verringerte Futtermittelbedarf eine Ackerfläche von circa 197.000 Hektar freimachen, was der halben Fläche des Burgenlands entspricht. Dort könnte man Soja anbauen und somit den Bedarf vollständig aus einheimischer Quelle decken. Dies würde die Treibhausgasbilanz um 1,4 Millionen Tonnen verbessern. Regionalität ist auch im Hinblick auf die Transporte bedeutend: Das Verfrachten von Lebensmitteln macht immerhin drei bis fünf Prozent der Treibhausgasemissionen aus.

Fazit: Das Schnitzel und das Steak müssen schleunigst werden, was sie früher waren: Sonntagsmahlzeiten. Die Tierhaltung muss weitgehend reduziert werden, die Menschen dürfen Feldfrüchte nicht zu Kraftfutter für Rinder verarbeiten, sondern zu Lebensmitteln. Die freigewordenen Acker- und Weideflächen können dafür aufgeforstet oder extensiv landwirtschaftlich genutzt werden, was Treibhausgase bindet.

4

Die Macht der Mehrheit

Einsparungspotenzial: 8 Prozent

In jedem Land gibt es öffentliche Straßen, Eisenbahnen, Krankenhäuser, Ämter und andere Einrichtungen, die von allen genutzt werden. Teilt man die Treibhausgasemissionen, die beim Errichten und Betrieb der öffentlichen Infrastrukturen anfallen, auf die Bevölkerung auf, machen sie acht Prozent des CO₂-Fußabdrucks jedes Österreicherers aus. Ob ganze Stadtteile, Verkehrswege und Spitäler klimaneutral errichtet und betrieben werden, kann jeder Einzelne natürlich nicht unmittelbar steuern, aber wir können bei den Wahlen mitentscheiden, ob Klimaschützer oder Klimawandelleugner sie verwalten. Die Ämter und Spitäler können etwa per Erlass mit Ökostrom versorgt werden. Die Stadt Wien hat zum Beispiel in den Kantinen, die sie verwaltet, den Fleischanteil reduziert und verordnet, dass ein Drittel der Zutaten aus biologischer Landwirtschaft stammen.

Auch die Verkehrspolitik beeinflusst die CO₂-Emissionen massiv. Wenn eine neue Schnellstraße oder Flugpiste gebaut wird, bringt das langfristig mehr Emissionen beim motorisierten Individual-

und Flugverkehr, erklärt Helmut Haberl vom Institut für Soziale Ökologie der Boku Wien. Und wenn auf den Autobahnen 140 Stundenkilometer erlaubt sind, fahren die Leute schneller und kaufen sich stärkere Autos mit höherem Treibhausgasausstoß, als wenn das Limit bei 100 km/h liegt.

Fazit: Die Österreicher müssen in Zukunft ihre Wahlentscheidungen zentral davon abhängig machen, ob Politiker Klimaschutzmaßnahmen forcieren.

5 Bausünden

Einsparungspotenzial: 7 Prozent

Damit uns vier Wände umgeben, zwischen denen es warm und hell ist, wenden wir im Schnitt sieben Prozent unseres Treibhausgasabdrucks auf. Einen großen Teil davon macht Heizen aus. Besonders klimaschädlich sind fossile Systeme, also Öl- und Gasheizungen. Wer von einem solchen System in einem unsanierten Altbau zum Beispiel auf eine automatische Pelletsheizung umstellt, kann seine CO₂-Emissionen mit einem Schlag (und durch staatliche Förderungen gut unterstützt) um fast 10.000 Tonnen drosseln. Das ist, als ob ein durchschnittlicher österreichischer Treibhausgasemittent von heute auf morgen gänzlich verschwände. Pellets, eine Holzheizung, Wärmepumpen und Fernwärme haben hingegen allesamt massiv niedrigere Treibhausgasemissionen als fossile Brennstoffe.

Zudem kann man, unabhängig vom Heizsystem, durch eine gute Wärmedämmung die Emissionen um die Hälfte drücken, sagt Peter Traupmann von der Österreichischen Energieagentur. Altbauten mit historischer Fassade, die Dörfer und Städte schmücken, kann man zwar nicht rundum einpacken, aber die oberste Geschößdecke zu dämmen, funktioniert fast immer. Dies allein spart Emissionen im zweistelligen Prozentbereich, erklärt der Experte.

Für neue Eigenheime dürften überdies keine Wiesen und Felder mehr am Ortsrand geopfert werden, monieren Experten. In Österreich werden laut Umweltbundesamt im Schnitt jeden Tag knapp zwölf Hektar Boden verbaut und versiegelt. Das entspricht der Fläche von 16 Fußballfeldern – und ist eine Sünde, die künftig nicht mehr vorkommen darf. Meist geschieht dies, wo bis vor Kurzem die fruchtbarsten und attraktivsten Ackerflächen waren, während die Ortskerne aussterben, sagt Florian Kraxner vom Internationalen Institut für Angewandte Systemanalyse (IIASA) in Laxenburg bei Wien.

Alte Gemäuer zu sanieren, sei klimatechnisch oft die bessere Variante, als einen Neubau auf die grüne Wiese zu stellen. Beim Bauen verflüchtigt sich nicht nur der Kohlenstoff aus dem Boden in die Atmosphäre, es müsse auch neue Infrastruktur gebaut werden, damit die Anrainer Straßen, Wasser und Strom haben. „Das löst einen Rattenschwanz an Problemen aus. Viel vernünftiger ist es, den Ortskern zu beleben, zusammenzurücken und weitere Zersiedelung zu vermeiden“, so Traupmann. Dabei sollte man vermehrt auf Holz setzen. Dieses hätte eine viel bessere CO₂-Bilanz als Beton, Eisen, Kunststoff und Aluminium, erklären Forscher der Boku Wien. Viel Energie sparen kann man durch „Managementmaßnahmen“, so banal sie klingen mögen: indem man das Licht abdrehet, wenn man länger nicht im Zimmer ist, den Fernseher nicht ständig laufen lässt und Standby-Geräte komplett abschaltet.

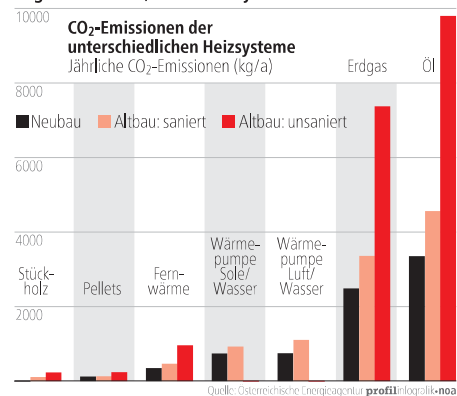
Lässt man sich eine Solaranlage aufs Dach schrauben, kann man sein Passivhaus sogar in ein Aktivheim verwandeln, das mehr Energie erzeugt, als es verbraucht, und im Betrieb CO₂-neutral ist. Zumindest im Sommer kann man damit mehr

Strom erzeugen, als man benötigt, ein Elektroauto aufladen und den restlichen Strom ins Netz speisen. Somit könnte man sein Soll in diesem Bereich sogar übererfüllen.

Fazit: Es muss legislativ unterbunden werden, dass jeder Bürgermeister, um zahlungskräftige Neuzugänge und Geschäftszentren anzulocken, die grünen Wiesen und Felder rings um den Ort opfern darf. Die Ortskerne müssen durch Besiedelung wiederbelebt werden und wieder Nahversorger erhalten, um Verkehrswege zu sparen. Das bedeutet eine komplette Neuausrichtung regionaler Planung, an der jedoch kein Weg vorbeiführt. Alt- wie auch Neubauten funktionieren außerdem durch erneuerbare Heizungssysteme, eigene Stromerzeugung und zeitgemäße Dämmung emissionsfrei.

Fossiles Heizen sollte aussterben

Erneuerbare Heizquellen und Wärmeisolierungen müssen ausgebaut werden, Gas- und Ölsysteme verschwinden.



6

Internet-Fasten

Einsparungspotenzial 6 Prozent

Fast so viele Treibhausgase wie das Wohnen erzeugen unsere Aktivitäten in der virtuellen Welt. Bis jetzt wurde das in der österreichischen Treibhausgasbilanz praktisch nicht berücksichtigt. Berechnungen zufolge hätte das Internet, wäre es ein Land auf dem Globus, den sechstgrößten Stromverbrauch auf unserem Planeten. Jedes Mal, wenn wir über Google einen Begriff oder eine Route suchen, ein YouTube-Video ansehen, auf Facebook posten oder twittern, laufen irgendwo auf der Welt Rechner auf Hochtouren, um die Anfragen zu bearbeiten. Die Serverfarmen in den Google-Datenzentren verbrauchen im Jahr laut dem Unternehmen 260 Millionen Watt. Mit der Energie könnte man Städte in der Größe von Klagenfurt bis Linz versorgen. Einer der größten Stromfresser ist laut Experten Video-Streaming. 2015 waren zwei Drittel des Internetverkehrs Filme, bis 2020 wird dieser Anteil Prognosen zufolge auf 80 Prozent steigen.

Clemens Rohde vom Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung in Karlsruhe rechnete vor, dass in Deutschland der Energiebedarf von Rechenzentren, in CO₂-Äquivalente umgerechnet, den Emissionen des Flugverkehrs entspräche. Dazu kommen die Energiekosten der lokalen Computer, Handys und Tablets. Jeder Mouseclick und jeder Besuch in der virtuellen Welt trägt also ordentlich zum CO₂-Ausstoß in der realen Welt bei.

Fazit: Unseren Fußabdruck können wir reduzieren, indem wir Computer und Handyakkus wenigstens mit erneuerbarem Strom speisen. Beim Internet-Konsum muss künftig das Gleiche gelten wie bei realen Produkten: Abstinenz und Verzicht. Viele Stunden täglich bei Facebook abhängen muss als Klimasünde aufgefasst werden. Vor allem das Volumen von Video-Streaming sollte massiv eingeschränkt werden.

7

... und der ganze Rest

Einsparungspotenzial 2 Prozent

Während die Punkte eins bis sechs enorme Anstrengungen und Umstellungen abverlangen, ergibt sich Nummer sieben quasi automatisch, wenn man die vorigen abhakt: die Vermeidung von Abfall. Besonders Konsumverzicht lässt zwangsläufig den Müllberg schrumpfen. Zudem sollte man möglichst viele Produkte der Wiederverwertung zuführen, damit sie als Rohstoffe dienen und nicht energieaufwendig als Abfälle entsorgt werden müssen.

Fazit: Das Abfallproblem erledigt sich durch Maßnahmen in anderen Bereichen fast von selbst. Mehr Beachtung sollten wir einer Kreislaufwirtschaft schenken – Tauschbörsen müssen vor dem Mülleimer eine Option sein.



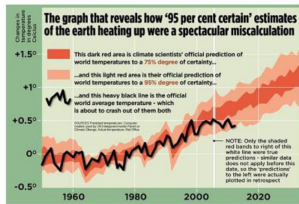
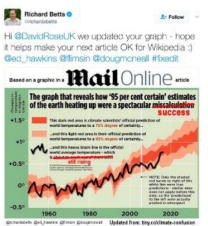
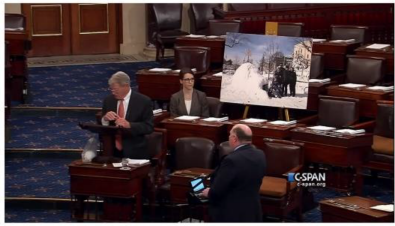
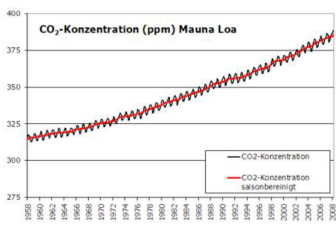
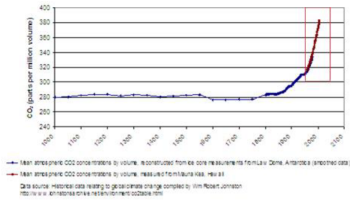
Allerdings: Selbst wenn wir uns sofort zu Klima-Musterschülern wandeln, ist das Ziel von Paris, die globale Erwärmung auf 1,5 Grad zu beschränken, laut Forschern praktisch nicht mehr erreichbar. Damit der Klimawandel in den kommenden Jahrzehnten nicht gänzlich in der Katastrophe mündet, muss aber in den nächsten elf Jahren, also bis 2030, endgültig eine Trendwende geschafft werden: Die CO₂-Emissionen dürfen nicht mehr steigen, sondern müssen massiv sinken, um schließlich 2050 bei null anzukommen. Dann dürfen nicht mehr Treibhausgase in die Atmosphäre geblasen werden, als durch die Natur oder technisch daraus entfernt werden. Den Menschen in den Industrieländern ginge es nicht schlechter, wenn sie weniger Ressourcen verbrauchen, zeigte Helmut Haberl in einer Studie. Gesellschaftlicher Wohlstand wäre mit viel geringerem Energie- und Rohstoffaufwand als derzeit möglich. Allerdings sind die heutigen Wirtschaftssysteme auf Wachstum angewiesen. Stagniert oder sinkt es, folgt eine massive Krise. Es müsste demnach quasi das ganze System umgekrempelt werden. „Wie das gehen soll, weiß ich nicht, und ich kenne niemanden, der das seriös beantworten kann“, sagt er. Auch das Bevölkerungswachstum steigert den Ressourcenverbrauch und gefährdet die Klimaziele. Eine weltweite Einkinderpolitik, die freilich auf positiven Anreizen und nicht Zwang basieren müsste, könnte demnach sinnvoll sein.

Momentan sind wir aber weit davon entfernt, den richtigen Weg einzuschlagen: Österreich hat 2017 erstmals die nationalen Klimavorgaben verfehlt, der Treibhausgasausstoß stieg im Vergleich zum Jahr davor um 3,3 Prozent. Wissenschaftler des Grazer Wegener Center gehen davon aus, dass die Republik auch in den folgenden Jahren am Zielpfad vorbeischießen wird. Vor allem beim staatlichen Klimaschutz besteht eindeutig Nachholbedarf: Laut Klimaschutzindex 2019 der deutschen Umwelt- und Entwicklungsorganisation Germanwatch liegt das Land auf den hintersten Plätzen. Es fehlen vor allem im Verkehrssektor Maßnahmen, die einen weiteren Anstieg der Emissionen verhindern.

Wie man es auch dreht und wendet: Selbst wenn viele empfohlene Maßnahmen unerfreulich, schwierig umsetzbar und praxisfern erscheinen – es wird kein Weg daran vorbeiführen. Mit anderen Worten: Der Mensch muss sein gewohntes Leben drastisch ändern. ■

G. Unterlagen fünfte Unterrichtseinheit

G1. PowerPoint-Folien

<p>Quiz</p> <p>SOC-40353261</p>	<p>Fake News suchen, analysieren und vorstellen (1-2 Minuten) (Twitter, Facebook, Youtube, Nachrichten, Homepages, etc.)</p> <p>Beispiel:</p> 
<p>The Australian Climate Sceptics Blog</p> 	<p>Daily Mail (UK, 16 March 2013)</p> 
<p>Daily Mail (UK, 16 March 2013)</p> 	<p>Senator Jim Inhofe (Feb 2015)</p> 
<p>klimaskeptiker.info: Der CO₂-Anstieg ist zu gleichmäßig, um von Menschen beeinflusst zu sein</p> 	<p>klimaskeptiker.info: Der CO₂-Anstieg ist zu gleichmäßig, um von Menschen beeinflusst zu sein</p> <p>Global atmospheric CO₂ concentrations</p> 

Klimawandel

Score: _____

1. Venus, Erde und Mars: Suche dir einen Planeten aus und beschreibe, welche(s) Ereignis(se) besonders großen Einfluss auf das Klima des Planeten hatte.



2. Sauerstoff ist jenes Gas, das am häufigsten in der Erdatmosphäre vorkommt.

- ☐ A True
☐ B False

3. Erkläre kurz, wie der Treibhauseffekt in der Erdatmosphäre zu Stande kommt.

4. Welche der folgenden Gase zählen zu den Treibhausgasen?

- ☐ A CH_4
☐ B N_2
☐ C O_2
☐ D FCKWs
☐ E CO_2
☐ F N_2O

5. Nenne 3 Maßnahmen, mit denen DU zur Reduzierung der von dir hervorgerufenen CO_2 -Emissionen beitragen könntest.

6. Ohne dem natürlichen Treibhauseffekt würde auf der Erde eine Durchschnittstemperatur von -18°C herrschen.

- ☐ A True
☐ B False

7. Welche Aussagen kann man aus nebenstehender Grafik ablesen?

- ☐ A Seit 1890 ist die Menge an CO_2 in der Atmosphäre stets gestiegen.
☐ B Seit 1890 ist die Temperatur stets gestiegen.
☐ C Im Jahr 1990 gab es den höchsten CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre.
☐ D Im Jahr 2000 war es in etwa $0,8^{\circ}\text{C}$ wärmer als im Jahr 1890.



8. Das Abschmelzen der Eismassen der Arktis würde den Meeresspiegel höher ansteigen lassen als das Abschmelzen des Eises der Antarktis.

- ☐ A True
☐ B False

9. Nenne mindestens zwei Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels, die man in Österreich in den letzten Jahren beobachten konnte.

10. Welche der folgenden internationalen Abkommen sollen dem Schutz der Umwelt oder Natur dienen?

- ☐ A Kyoto-Protokoll
☐ B Vertrag von Versailles
☐ C Übereinkommen von Paris
☐ D Lissabon-Strategie
☐ E Schengener Abkommen

11. *** Hast du etwas Neues gelernt?
 Wenn ja, was? Wenn nein, worüber hättest du gerne mehr erfahren?

12. *** Mit diesen drei Adjektiven würde ich den Unterricht beschreiben:

13. *** Der Unterricht war abwechslungsreich gestaltet.

- ☐ A True
- ☐ B False

14. *** Die Arbeitsaufträge waren klar formuliert.

- ☐ A True
- ☐ B False

15. *** Was du mir sonst noch sagen wolltest... :)

H. Transkript des Interviews mit vier SchülerInnen

Interview mit zwei Schülerinnen (M1, M2) und zwei Schülern (J1, J2) der zum Zeitpunkt des Interviews achten Klasse eines Wiener Realgymnasiums am 8. November 2019, 11:06 – 11:40.

Interviewer (I): Gut, fangen wir an. Wisst ihr noch, wie wir die Stunden angefangen haben? In der allerersten Stunde?

M1: allererste Stunde? Mhmmmm...

J1: Mhmmmm- war das mit dem Video?

I: Nein, Video haben wir uns noch keines angeschaut. Aber ich gebe euch einen Tipp! Wir haben Wörter gesammelt!

[I legt Ausdruck der Word Cloud auf den Tisch]

J1: Ah, richtig- die mind map!

J2/M1/M2 Jaaaaa.

M1: Oh Gott! *[berührt/streichelt kurz den Ausdruck]*

I: Okay, prinzipiell, was fällt euch da so ein? Was waren da so eure Gedanken dazu? Ihr könnt jetzt einfach irgendwelche Worte herauspicken, die euch gut in Erinnerung geblieben sind oder ob ihr etwas anderes dazuschreiben würdet- einfach eure Gedanken zu dieser Abbildung.

J1: CO₂ sind Treibhausgase.

M1: Also, wir sind grundsätzlich mal zu diesem Thema gekommen, weil es gerade ur so... also in der Politik und überhaupt, also für uns so wichtig war auch, dass wir dieses Thema besprechen weil es genau uns betrifft. Ähm, und ich glaub, Sie haben uns auch gefragt, was uns eher interessieren würde und wir haben uns für die Klima-Dingsda entschieden. Und dann haben Sie aufgeschrieben diese Begriffe damit wir genauer beschreiben können... ähhmm... und wir haben auch gleich angefangen, glaub ich, mit dem Treibhauseffekt. Ähmmm, was es eigentlich ist und wie es zu Stande kommt, mit der ganzen Ozonschicht usw., welche Gase ... ähhmm...

J1: ... beteiligt sind, wie z.B. die FCKWs, also die Flur-Wasserstoffe...

M1: ... genau, genau, halt welche am schlimmsten sind, wo es sie noch gibt und so weiter und so fort...

J1: ja, und dann noch eingereiht, welche... was die schlimmsten Treibhausgase sind zu den schwächsten. Also, die CO₂ Gase waren die schwächsten, aber sind mengenmäßig mehr vorhanden...

M1: Genau.

J1: ... in der Atmosphäre.

- I: Danke, passt. Zu den Treibhausgasen kommen wir später noch extra. Jetzt zunächst mal nur zu der Abbildung: Fandet ihr, war diese Word Cloud eine gute Idee, hätte man es anders machen sollen?
- J1: Nein, das war super. Man erinnert sich auch schnell wieder daran.
[alle Schülerinnen und Schüler nicken zustimmend]
- M1: Ja, ich mein, es sind da 20 Leute gegessen und jeder hatte eine andere Perspektive und dann hatten wir alles in einem Bild.
- J1: Und es ist halt mit den Farben auch dann automatisch- wenn man an eine Mind Map denkt, dann ist mir genau dieses Bild als erstes in den Gedanken gekommen, weil ... es prägt sich halt sehr gut ein ins Gedächtnis.
- I: Okay, und habt ihr das Gefühl, dass wir wirklich alles abgearbeitet haben, was da draufsteht, oder glaubt ihr, hab ich euch etwas vorenthalten? Was war euer Gefühl so?
- J1: Ich denke, dass ... ah, nein, da steht doch Eisberg schmelzen, so... also, das mit der Antarktis haben wir jetzt konkret nicht drauf geschrieben, also keiner ist jetzt konkret darauf gekommen. Oder, weiß nicht ob Meeresspiegel steigt jetzt irgendwo steht- ah doch, da oben, aber..
- M1: Ja, okay, also...
- J1: ... das war jetzt nicht prinzipiell das Hauptthema am Anfang.
- I: Okay, passt- gut. Dann so viel dazu. Dann haben wir in der ersten Stunde auch... [sucht nach Zettel]
- M1: ... einen Versuch oder so?
- I: ... nein, in der ersten Stunde gab's noch keinen Versuch. Aber da haben wir über die Planeten gesprochen.
[I legt Abbildung der drei Planeten auf den Tisch]
- M2: Aja, stimmt. Da hatten wir Gruppen, oder?
- I: Mhmm, ja. Wisst ihr da noch irgendwelche Punkte zu den drei Planeten, wie sie sich unterscheiden, was wir da besprochen haben?
- M1: Ich glaub, beim Mars ist irgendwann mal das Magnetfeld zusammengebrochen ... ähmmm... und es ist überhaupt... ähmm... was war da nochmal... die Temperaturunterschiede dermassig unterschiedlich, also, man kann sie nicht vergleichen mit der Erde. Oder vielleicht ähnlicher, dass es auch dort ein Leben geben könnte.
- M2: Aber ich glaub, es ist halt dort in der Früh extrem heiß, und am Abend extrem kalt, glaub ich...
- J1: .. bzw. auf der Seite, die einfach von der Sonne beschienen wird, also die Sonnenstrahlen erreicht. Dann, auf der Erde haben wir die Urgeschichte der Erde auch zum Thema gehabt, also, dass sie früher ein glühender Gasplanet war- also ein glühender Planet einfach. Es war sehr heiß auf der Erde. Und die Treibhausgase, also es wurde kühler über die Zeit, ähhh und, dann sind

die Eiszeiten eingetreten. Und, ähhh, die Erde konnte ... ist aufgetaut mehrmals und das kann man u.A. wegen den Treibhausgasen erklären, weil ohne Treibhausgase wäre die Erde immer kühler und kühler geworden bis sie sich zu einem Eisplanet entwickelt hätte. ... Und, dass das Wetter je nach Region halt unterschiedlich ist.

I: Okay, hast du noch irgendeine Erinnerung an die Venus [*I sieht J2 an*]

J2: An die Venus? Also, da war es, es ist noch immer extrem heiß. Extreme Temperaturen. Sehr nahe bei der Sonne. Ähmm, war früher, ähmm, kann mich nicht erinnern, auch ein grüner Planet? Und ja, auf der Venus, auf der einen Seite extrem heiß und auf der anderen extrem kalt. Extreme Temperaturunterschiede.

J1: Ich glaub, ich kann mich erinnern, dass die Atmosphäre sehr dünn ist dort.

I: Bei welchem Planeten?

J1: Bei der Venus. Ja, also, dadurch dass dann so ein hoher Druck dann entsteht in der Atmosphäre damit dann die Hitze so ...

I: Also, weil die Atmosphäre so dünn ist, entsteht ein hoher Druck?

J1: Ja, ja. Uuuund...

M1: Und es ist auch nicht in einer Ebene sondern, es ist so ein Gestein quasi, so Vulkanförmig, so irgendwie. [Stille]

I: Okay. Und habt ihr das interessant gefunden, oder hättet ihr euch lieber nur auf den Klimawandel auf der Erde fokussiert?

M2: Nein, es war interessant.

J1: Nein, war schon gut so.

M1: ... mal den Unterschied zu anderen Planeten zu wissen. Halt, es war... also, ich mein, wenn es alle Planeten gewesen wären, wäre es fad, aber mit nur zwei, und genau diesen neben der Erde, war es genau richtig.

J1: Vielleicht Saturn, ja, Saturn wäre vielleicht noch interessant gewesen. Oder...

J2: Jupiter.

J1: Ja, genau, Jupiter, wollt ich auch grad sagen.

M1: Aber die haben wir ja eh schon gemacht, in der sechsten.

J1: Ja, aber... ähmm... sonst...

I: Okay, wenn es um den Klimawandel geht, warum glaubt ihr, sind da vielleicht Saturn und Jupiter nicht so interessant?

J1: Weil es dort einfach kalt ist?

M2: Naja, das sind Gasplaneten.

J2: Ja, das sind Gasplaneten.

I: Ja, genau, das sind Gasplaneten, haben also keine Oberfläche. Aber ja, okay-um mehr über die beiden zu erfahren, seid ihr ja dann in der letzten Woche zu mir auf die Uni gekommen. Gut, passt, dann die nächste Stunde haben wir mit einem Experiment angefangen.

[I legt Abbildung zum ersten Versuch (Glaskuppel) auf den Tisch]

M1: Oh, ja.

J1: Ja, Glashauseffekt.

I: Ja, könnt ihr mir vielleicht dazu bissal erklären, was wir da gemacht haben?

J2: Ja.

M1: Ähm, ja wir haben- willst du? [deutet auf J2]

J2: Nein, ich geb dir den Vortritt.

M2: Okay, und zwar, haben wir zwei Thermometer verwendet und haben sie beide in die... also, nein, das Fenster war nicht offen, aber wir haben sie am Fensterbrett hingestellt- in der Sonne. Und sollten feststellen, nach einer gewissen Zeit, ähm, wo es wärmer sein würde- wo die Sonne quasi direkt drauf strahlt oder wo es im Glas quasi... also... ähh... wir hätten es als Schützfaktor sehen sollen obwohl, wenn es erhitzt wird, wird viel mehr Hitze drinnen steht und so. Also, es war viel heißer in dem [zeigt auf Abbildung, wo sich Thermometer unterhalb der Glasschüssel befindet] Thermometer, das im Glas drinnen war.

I: Okay, sehr schön. Und warum hab ich dieses Experiment mit euch gemacht?

M1: Weil es genauso mit der Erde aussieht. Ähm, wir haben ja eine Ozonschicht, quasi, und wenn...

I: Einen Moment. Gehen wir gleich zum nächsten Bild.

[I legt Bild mit den Ausschnitten aus dem YouTube-Video auf den Tisch]

I: Und zwar- wisst ihr noch, wo ich die Bilder rausgenommen hab?

M1: Ja, aus einem Video.

I: Genau, und da kamen diese beiden Bilder vor. Könntet ihr mir da kurz erklären, was man da erkennen kann? Vielleicht sogar im Zusammenhang mit dem Experiment von vorher, das wir gemacht haben.

M1: Okay, soll ich?

J1: Soll ich? Ich kann...

[M2 zeigt auf]

I: okay, vielleicht mal wer anderer. Machst du mal kurz? [zeigt auf M2]

M2: Ähm, okay, also da [zeigt auf Bild mit natürlichem Treibhauseffekt], ist halt, hat man eine eher dünnere Atmosphäre. Also, wenn die Sonnenstrahlen auf die Erde treffen, dann wird's halt reflektiert und das meiste geht wieder raus, so zu sagen. Und da [zeigt auf Bild mit anthropogenem Treibhauseffekt] halt wegen den Treibhauseffekten und allen Gasen, also z.B. CO₂, haben wir eine, ähm, eine eher dichtere Atmosphäre. Und wenn die Sonnenstrahlen halt auf der Erde treffen, dann können halt, das meiste nicht wieder rausgehen und es wird halt wegen der Atmosphäre wieder zurück reflektiert und wir haben dann halt eine Erwärmung auf der Erde.

- I: Okay, kannst du mir vielleicht irgendwie deuten warum hier [*I deutet auf einfallende Strahlung im Bild mit natürlichem Treibhauseffekt*] so rote Linien mit kleiner Wellenlänge ist und hier [*I deutet auf reflektierte Strahlung im Bild mit natürlichem Treibhauseffekt*] blaue mit langer Wellenlänge?
- J1: Darf ich's sagen?
- M2: Ähmm, also das ist hier [*deutet auf einfallende Strahlung im Bild mit natürlichem Treibhauseffekt*] kommt glaub ich intensiv? Und ja, keine Ahnung, antworte du hier [*zeigt auf J1*].
- J1: Ja, also, die Frequenz von den Sonnenstrahlen ist viel kürzer als die von den Wärmestrahlen. Und, wie sie schon erklärt hat, wenn jetzt z.B. die Strahlen jetzt noch auf den Treibhaus.. also irgendein Treibhausgas trifft, wird diese Wärmestrahlung nicht aus der Atmosphäre rauskommen sondern sie wird ja dann wieder zurück, ähmm, reflektiert werden. Und dadurch entsteht dann quasi- dann fällt's nochmal auf die Erde, wo's reflektiert wird.
- I: Was würdet ihr sagen ist an der Darstellung hier vielleicht problematisch? Was ist da vielleicht nicht so ganz richtig dargestellt? [Stille]
- J1: Okay, also, offensichtlich gibt's keine Kuppel und keine, äh....
- I: Ja, okay, keine Kuppel. Und wo befinden sich eurer Meinung nach die Treibhausgase?
- J1: Eher in den Städten.
- I: Eher in den Städten- also lokal?
- Alle: Mhm! [*alle nicken*]
- I: Okay- Und was könnte das hier [*I zeigt auf gelbe Pünktchen, die Treibhausgase in Abbildungen darstellen sollen*] darstellen?
- M1: Also, hier [*zeigt auf Bild mit natürlichem Treibhauseffekt*] sehen wir das in der Natur quasi, wo jetzt z.B. nur Tiere sind, oder halt Waldgebiet, wo keine Menschen gerade irgendeinen Einfluss haben, dass es dort ziemlich gut funktioniert. Und dort wo wir sind [*zeigt auf Bild mit anthropogenem Treibhauseffekt*], quasi mit Autos und wo wir Industrie aufgebaut haben, dort es viel schlimmer angeht. Und dort die Erde, also mit den mehreren Feuerzeichen, ist auch viel mehr erwärmt. Und wir halt mit den Russen usw. und allen Schuld sind, dass es so weit gekommen ist.
- J1: Es stellt den Menschen auch quasi dar als einen...
- M1: Ja, wir sind auch die Monster.
- J1: ... Zerstörer.
- I: Und sind die Treibhausgase in einer bestimmten Region? Also, ihr habt gesagt, bei den Städten, aber auch von der Höhe her- findet man sie irgendwo in einer speziellen Höhe?

J1: Ja, also, Gase steigen. Is ja so. Und ich denk, ich weiß nicht in welcher Schicht der Atmosphäre es sich quasi anreichern würde, aber ich denke in der Ozonschicht. Oder in der Hemisphäre. Eine der beiden wahrscheinlich.

I: Okay, jetzt hast du das Wort Ozonschicht genannt. Was hat die Erderwärmung mit der Ozonschicht oder dem Ozonloch zu tun?

J1: Ozon is O_3 .

M1: Es schützt uns vor den intensiven Sonneneinstrahlungen. Und wenn jetzt... also, es bilden sich Löcher in der Ozonschicht, und die brauchen.... Es dauert immer ein Zeit bis sie sich wieder verschließen können. Und wenn es so viele Treibhausgase gibt, dann dauert es noch länger, dann können sie sich nicht so einfach verschließen. Und deshalb sollten wir sorgen, dass wir der Ozonschicht wieder Zeit lassen um sich wieder zu verschließen, weil, wenn im Endeffekt die Sonne auf uns scheint ist das schlecht für unseren Körper.

J1: Und, weil ich das davor schon erwähnt hab, die FCKW Gase sind das schlimmste für das Ozon. Früher, wegen den Spraydosen, halt in Australien usw. ein riesiges Ozonloch erschaffen haben. Man könnte dort im Sommer auf dem Bürgersteig oder auf den Autos einfach Eier kochen. So heiß ist es dort schon.

I: Wisst ihr, welche Strahlung das Ozonloch durchlässt?

M1: UV.

I: Wie kommst du auf UV?

M1: UV-Strahlung verbinde ich mit Sonne.

J1: UV-Strahlung ist energiereicher. Und alpha- und beta-Strahlung werden leichter abgeschirmt.

M1: Aber UV sind halt die Strahlen, die für unseren Körper auch krebserregend sein können.

I: Und hier [*deutet auf einfallende Strahlung im Bild mit natürlichem Treibhauseffekt*], die Strahlung, die hier angedeutet wird, welche Art könnte das sein?

J2: UV.

J1: beta-Strahlung.

M1: UV.

J1: Obwohl, nein- das kann nur UV sein. Es gibt ja UVA, UVB und UV....

M2: C wahrscheinlich.

J1: Ja, UVC. UVC ist das schlimme. Es ist einfach alpha, beta, gamma, wenn man es so sieht.

I: Sagt euch der Begriff "atmosphärisches Fenster" etwas?

[Stille]

I: Das kam auch auf dem Arbeitsblatt zu dem Video vor. Wisst ihr noch, was das war?

J1: Hat das was mit dem Ozon zu tun?

J2: Naja, ein Fenster kann sich schließen.

I: Wenn ihr es nicht wisst, ist es auch okay.

J1: Kann es die Stelle sein in der Atmosphäre, wo leichter... ähmmm... Wärmestrahlungen rausgehen, also quasi die Erde verlassen können.

I: Okay, danke. Habt ihr sonst noch irgendwelche Anmerkungen zu dem? Wie habt ihr das Video gefunden, falls ich euch noch erinnern könnte?

J2: Sehr verständlich.

J1: Ja, sehr verständlich.

M1: Ja.

I: Lernt ihr eigentlich viel mit YouTube?

M2: Ja.

M1: Also, so kurze Clips...

J1: Naja, im Unterricht ab und zu.

M1: Ja, wenn wir etwas erklärt bekommen, dann noch ein Video dazu- dann ist es halt noch verständlicher.

I: Okay, und daheim? Schaut ihr euch Videos an, wenn ihr irgendetwas genauer wissen möchtet?

M1/J1: Nein.

M2: Also, ich schon- ich lern das meiste eigentlich mit solchen Videos.

J1: Simple Maths vielleicht- oder sowas typisches für den Physiktest.

I: Okay, also findet ihr sowas gut im Unterricht als Unterstützung?

J1: Ja, schon- bei bestimmten Themen, aber nicht bei allen. *[die anderen nicken]*

I: Gut, dann sind wir auch schon bei der dritten Stunde angekommen. Da haben wir dieses Experiment gemacht.

[I legt Fotos von Arktis/Antarktis-Experiment auf Tisch]

M1: Oh ja!

M2: Ah, da war ich nicht da.

I: Okay, schade- du warst nicht da. Was wissen die anderen drei noch?

J2: Halt den Nordpol und den Südpol verglichen.

I: Ja- und wisst ihr noch, welcher der Nordpol und welcher der Südpol ist?

J1: Das ist Südpol *[zeigt auf Bild von Südpol-Analogon]*, und das ist Nordpol *[zeigt auf Bild von Nordpol-Analogon]*.

J2: Genau. Südpol *[zeigt auf Bild von Südpol-Analogon]*, Nordpol *[zeigt auf Bild von Nordpol-Analogon]*. Ja, genau.

I: Und woran habt ihr das erkannt?

J2: Die Pinguine sind am Südpol.

I: Okay, an den Pinguinen. Und was wollten wir mit diesem Experiment zeigen? Was haben wir hier herausgefunden?

J2: Dass, wenn sich der Nordpol... also, wenn der wegschmilzt, dann steigt der Grundwasser... halt der Meeresspiegel steigt dann drastischer als wenn der Südpol schmilzt.

J1: Ich denke, es war umgekehrt. Weil beim Südpol, der Antarktis, ähm, der Meeresspiegel höher steigen würde, weil es eine Landmasse darunter gibt.

J2: Ja, das könnte stimmen.

I: Ihr könnt gerne diskutieren, wenn ihr euch nicht sicher seid.

M1: Also, hier [*zeigt auf Bild von Nordpol-Analogon*], wenn er schmilzt, dann hat das auch damit zu tun, dass, wenn hier der Meeresspiegel steigt auch hier quasi, diese Häuser überschwemmt werden. Verstehst du [*sieht J1 an*]- da würde es die Landmasse nachher gar nicht mehr geben. Hier [*zeigt auf Bild von Südpol-Analogon*] ist die Landmasse darunter- also hier wird nicht, also....

I: Da [*zeigt auf Häuschen auf Stein im Bild von Südpol-Analogon*] ist noch eine zweite Landmasse hier- die sieht man vielleicht nicht so gut auf dem Photo, aber das ist ein zweiter Stein wo da...

J1: Das Problem ist, bei dem hier [*zeigt auf Bild von Nordpol-Analogon*], kommt die Eisschicht unter Wasser schon und der Meeresspiegel ist ja dann quasi ... hat ein Gewicht von dem schon im Wasser, während auf der anderen Seite [*zeigt auf Bild von Südpol-Analogon*] das Eis auf der Landmasse ist und noch nicht im Meer ist. Wenn es dann im Meer wäre, dann muss der Meeresspiegel dann logischerweise höher sein. Deswegen mein ich, dass beim Süd... ähh ... Südpol es viel schlimmer ist.

M1: Aber die Eisbären [*zeigt auf Bild von Nordpol-Analogon*] haben dann auch überhaupt kein Leben mehr.

J1: Ja, das sowieso.

M2: Was ist das orangene?

M1: Häuser.

J1: Häuser.

I: Okay, Fazit- was würdet ihr sagen, was ist schlimmer, wenn welcher Pol abschmilzt?

J2: Beides ist schlimm.

I: Ja, beides ist natürlich schlimm.

J1: Ich... meiner Meinung nach Südpol.

J2: Würde auch sagen Südpol.

I: Okay, wenn wir uns mal die beiden Tiere anschauen. Für wen wäre es schlimmer- Pinguin oder Eisbär?

J2: Eisbär.

M2: Eisbär.

J1: Eisbär, weil er auf Eis lebt.

- I: Und global gesehen? Der Meeresspiegel generell- für Leute, die in der Nähe vom Meer wohnen?
- J1: Für die ist der Südpol schlimmer.
- I: Okay. Und dann habt ihr einen ganz kurzen Artikel gelesen, und da kam das Wort "Klimaflüchtlinge" vor.
- M1: Ja, das ist genau für die Region gewesen, wo in Indien, glaub ich, war das gewesen.
- J1: Auf einer Insel im Pazifik.
- M1: Aja, irgendeine Insel im Pazifik. Und da mussten schon voll viele fliehen, quasi weil, immer.... Je höher der Meeresspiegel wird, umso mehr Land wird also dann quasi von der Insel eingenommen. Und sie haben... sie können dort nichts mehr ernten oder sonst was und müssen von dort halt fliehen.
- J1: Die Insel war echt nur ein paar Meter über dem Meeresspiegel.
- I: Und welche Auswirkungen- also, das war jetzt für Klimaflüchtlinge im Pazifik- wie ist das jetzt in Österreich? Auf wen könnte der Klimawandel am meisten Einfluss haben?
- J2: In Österreich jetzt?
- I: Mhmm, ja.
- J1: Ähhmmm, auf die Alpen.
- M1: Auch, wir haben ja auch, also, Gletscher. Also, das schmilzt wahrscheinlich auch. Und wenn es jetzt Flüchtlinge gibt, dann werden sie sich wahrscheinlich auch in Europa ausbreiten, also wir werden wieder...
- J2: Also, für die, die südlicher von den Alpen leben, für die wird es eher schlimmer als für die nördlich.
- J1: Überschwemmungen sind wahrscheinlicher, oder sowas.
- I: Und welche Wirtschaftszweige vermutet ihr könnten vielleicht besonders betroffen sein?
- J1: Viehzucht.
- I: Viehzucht, okay. Warum die Viehzucht?
- J1: Ja, weil, ähmmm, wenn die Alm, also z.B. nur noch ... also kein Eis mehr hat, und nicht mehr das Gras nachwächst, usw. nicht mehr diese Nährstoffe kriegt, bzw. überhaupt keine Photosynthese mehr machen kann und sie dann einfach aussterben und es wird dann dort nur mehr Stein bleiben und darunter die Erde. ... Und halt der Skitourismus.
- I: Okay, sonst noch irgendetwas?
- J2: Agrarwirtschaft.
- I: okay- Wieso glaubst du die Agrarwirtschaft?
- J2: Naja, weil sich der Boden ja auch verändert.
- I: Okay, und könnte der Klimawandel auf euch persönlich einen Einfluss haben?
- J1: Schon.

M1: Ja. Nachdem es wärmer wird, usw.

J1: Sommer werden immer wärmer. Winter werden immer kälter.

M1: In der Schule ist es sowieso schon der Horror.

J2: Schule heizt nicht.

M2: Ja, die Schule kennt keine Heizung.

M1: Aber im Sommer ist es halt überhaupt heiß. Vor allem auf der Seite, wo die Sonne rein scheint. Also, wenn die Räume so klein sind, und da sitzen wir drinnen und müssen uns konzentrieren.

J1: Und wie letztes Jahr auch: 23. Februar minus irgendwie, minus vier Grad, und am nächsten Tag waren es 24 Grad- das war einfach so extrem.

M1: Ja, das war auch letzte Woche so.

J1: Eh.

M1: Es hatte glaub ich, 26 Grad, und am nächsten Tag nur mehr 14.

J1: An einem Tag war ich eingefroren und am nächsten dachte ich mir, ich brauche eigentlich keine Jacke.

M1: Ja, und irgendwann hat's voll geschneit, oder?

J1: Ja, ich dachte mir auch so, hä?

M2: Geschneit?

M1: Ja, im April/Mai oder so, wo wir noch Schnee hatten.

I: Gut. Zurück zur nächsten Stunde. In der vierten Stunde habt ihr Ausschnitte aus einem Profil-Artikel gelesen über...

J2: *[sagt etwas undeutlich]*

M1: Aja, ich weiß schon: Die Entwicklung von der Welt, also in Hitze-Dingsda. Wie's früher ausgesehen hat und wie's in späteren Jahren dann aussieht.

I: Nein, das war in der Stunde vorher- in der Stunde über die Klimawandelauswirkungen auf Österreich.

J1: Meinen Sie den Wissenschaftler, wo sie gesagt haben, wie viele Wissenschaftler für den Klimawandel sind und wie viele dagegen?

I: Das kommt in der Stunde danach, nein. Bei dem Artikel, da habt ihr so einseitige Ausschnitte gelesen, über, wie man im Konsum, beim Verkehr, bei der Ernährung, beim Wohnen, bei den Smartphones...

M1: Asoooo, ja.

J1: Aja, das war wo wir reintippen mussten mit unseren eigenen Angaben.

I: Das war die Hausaufgabe dazu. Hier musstet ihr dann so kurze Referate zu dem Artikel halten. Könnt ihr euch da noch erinnern, was z.B. beim Konsum so Punkte waren, wo man bei sich selber anfangen kann?

J1: Puh, das ist schwer.

M1: Ja, ich glaub, dass man nicht so viele.... nicht so viel Fleisch zu sich nehmen soll, vielleicht nur einmal in der Woche oder so. Aufpassen wo man einkauft, also eher second hand und nicht aus irgendeiner.. ich weiß nicht...

J2: Nicht importiert.

M1: Genau, nix importiertes.

J1: Regionale Produkte.

M1: Regionale, und Bio-Produkte.

I: Und beim Verkehr?

M1: Weniger fliegen usw., öffentliche Verkehrsmittel statt Auto. Fahrrad statt Auto.

J1: Es gab auch eine Frage, wie oft wir das Auto benutzen.

I: Ja, genau. Das war eine Frage bei dem Online-Test zum CO₂-Ausstoß, den ihr als Hausaufgabe machen solltet. Wie schaut's beim Wohnen aus?

J1: Heizung!

M1: Weniger heizen.

J1: Und Stromverbrauch.

M1: Und die Geräte sollen nicht so energieraubend sein.

J1: Genau, energieeffizientere Geräte. Das ist so mit AAA, oder so, wie das heißt.

M2: AA+.

I: AAA und AA+ und so, genau. Dann gibt es so Worte, die in den Medien oft vorkommen und da würde ich gerne schauen, ob euch die schon mal untergekommen sind: klimaneutral. Habt ihr das schon einmal gehört?

M1: Ja.

J1: Mhmm, ja.

I: Okay, eine Idee, was das heißen könnte?

J1: Ja, das war auch in SWS. Ähh, also, das heißt, wenn man... also wirtschaftlich gesehen halt ein Ziel hat, was weder schädigend noch gut...

M1: ... dafür sorgen, quasi....

J1: ja, nicht klimafreundlich oder klimawandelunterstützend ist.

I: Okay. Dann gab's diesen Dieselskandal.

J2: Sagt mir gar nichts- wann war das?

I: Der hat so vor fünf Jahren begonnen- ist aber immer noch öfters in den Medien.

M1: Aso, vielleicht weil der Preis so gestiegen ist, ob das nicht überhaupt abgeschafft werden soll, oder nicht?

I: Okay, also, du meinst das ist wegen dem Preis. Sonst irgendetwas gehört davon?

J1: War das nicht so, dass die Verbraucher einen komplett anderen Dieserverbrauch angegeben haben und dann quasi das Unternehmen oder quasi die Verantwortlichen mussten extrem hohe Geldstrafen zahlen, weil sie quasi bei den Autos den falschen Wert angegeben haben. Und dabei mehr CO₂ erzeugt haben als sie behauptet haben.

I: Okay, danke, passt. Nächster Begriff: Seltene Erden. [Stille] Diese zwei Worte schon einmal in irgendeinem Zusammenhang gehört?

J1: Hat das was mit dem Aluminium zu tun, was man verbrannt hat in Afrika, wo man einfach... ähh...

J2: Ah, ja, Smartphones.

J1: Ja, genau für Smartphones halt.

I: Mhmmm. Mikroplastik?

J1: Erklärt sich eigentlich selber, oder?

I: Ja, aber was könnte das mit dem Klimawandel oder Umweltschutz zu tun haben?

J1: Ja, also Forscher haben in einem See... oder.... entweder in einem See oder im Meer...

M1: Meer!

J1: ... nachgeprüft wieviel Mikroplastik im Wasser...

M1: ... vorhanden ist.

J1: Und haben gemerkt, dass es viel höher ist als vor ein paar Jahren.

I: Okay, und dann hab ich noch das 2-Grad-Ziel.

J2: Dass sich innerhalb der nächsten Jahre global halt die Temperatur höchstens um zwei Grad ändert.

J1: Bis 2025 sich nur um zwei Grad ändert.

J2: Es wird ansteigen, aber man will verhindern, dass es um zu viel steigt.

M1: Man versucht es zu.... unterdrücken.

I: Okay, passt. Und wir sind auch schon bei der letzten Stunde angelangt. In der letzten Stunde, neben dem Test, haben wir auch solche Sachen besprochen.
[*I legt Ausdruck von Fake News (Trump) auf den Tisch*]

M1: Aja.

J1: Ah, Fake News!

I: Genau, wenn ihr euch das mal durchlest, wie würdet ihr sowas beurteilen?
[*Schüler lesen*]

J1: Ungebildet, unwissend.

M1: Er versucht halt ausreden für seine eigenen Taten, die er... also, er versucht sich rauszureden.

J1: Halt, dass der Klimawandel... also, Trump behauptet, dass die globale Erwärmung überall erwärmt und deswegen nimmt er ein Beispiel von Texas oder Louisiana, wo's dort schneit mehr als überhaupt und sagt so quasi wo is der Klimawandel usw.

M1: Genau, dass es überhaupt keine Erderwärmung gibt, weil es in den Städten nicht üblich ist, dass es schneit, es voll kalt ist usw.

I: Genau, sehr gut. Und wie würdet ihr ihm darauf antworten? Was könnte man ihm entgegen?

J1: Ja, äh.... Wollt's ihr? [*J1 sieht andere InterviewpartnerInnen fragend an*]

M1: Ähmm...

M2: Ja, also, Erderwärmung bedeutet ja nicht, dass es nur wärmer wird, sondern es wird auch kälter.

M1: Ja, es kommt halt zu Naturkatastrophen usw. Und es passieren genau... genau solche Sachen passieren in diesen Fällen dann, also alles was nicht üblich, gewöhnlich ist, passiert dann. Und dass es dann dort geschneit hat war.... Was wollt ich sagen war, war ein Beweis dafür, dass die Erderwärmung so stark ist.

J1: Zum Beispiel mit dem Golfstrom.

M1: Ja, was das auch noch auf sich hat.

J1: Der... dass der in Europa irgendwann mal aufhören wird zu existieren...

M1: Ja, der wird einstürzen und es gibt kein Zurück mehr dann.

I: Gut, dann haben wir dieses Bild hier besprochen.

[I legt Ausdruck von Comic mit Obama und Wissenschaftler auf den Tisch]

I: Was würdet ihr da interpretieren?

[Schüler lesen]

I: Oder, wer ist denn da abgebildet?

M1: Obama- er war ja der bessere Präsident. Und noch dazu, der Trump hat ja wieder die Kohlenstoffatom... ähhh, also die ... wollte er sie wieder, hat sie wieder aufgesperrt, aufgebaut quasi *[schaut fragend J1 an]*, obwohl Obama sie davor abgeschaffen hat. Weil sie zu viele Gase bilden und man sieht halt, dass Obama nicht zufrieden war damit. Halt, er sollte die Leute damit beruhigen, dass er das Geld, was dem Staat zur Verfügung steht, dafür ausgibt, dass die Wissenschaftler... ähmm...

J1: Ich denke, es ist eigentlich eher umgekehrt. Das ist von den Leuten, die glauben, dass der Klimawandel eben nicht... ähmm... halt wahr ist und dass Obama das ganze Geld in der Klimaforschung den 95% - weil das steht auf dem Arm, z.B. – gegeben hat, damit sie sagen so: "Ja, wir werden das als richtig erweisen" quasi.

I: Okay, sehr gut.

J1: Und, ähh... die sagen so quasi, dass die 95% der Wissenschaftler alle bezahlt, also bestochen worden sind, damit sie diese Aussagen bringen.

M1: Aber er hat's nicht... also, er war nicht glücklich selber damit, dass er das machen muss.

I: Und hier das letzte Bild:

[I legt Ausdruck von Comic mit Vater und Kind beim Eislaufen auf den Tisch]

[Schüler lesen]

J1: Ja, okay- wollt's ihr machen?

I: Ja, vielleicht möchtest du was sagen? *[I deutet auf M2]* Wie würdest du das interpretieren?

- M2: Ähmhhh, also, halt, da ist ein Schild, das... halt, wo draufsteht "Klimawandel". Die sind, glaub ich, beim Eislaufen, oder ja. Und halt das Kind zeigt auf den Schild, das halt wahrscheinlich ... äh... das halt wegen der Erderwärmung wahrscheinlich das Eis schmelzen wird. Und halt sozusagen sie warnt ihn davor, weil, da steht halt "weiter so". Also, er ignoriert das sozusagen. Und macht einfach weiter.
- J2: Wie vorhin.
- J1: Und soll einfach sagen, dass er einfach weiter fahren wird- und irgendwann wird er auf dieses brüchige Eis und dann selber...
- I: Und wofür könnte das stehen?
- J1: Das wir Menschen uns selber in den Ruin... also, in die Brüche weiterlaufen werden.
- M1: Genau, obwohl wir genug.... Obwohl wir genug, ähhhh.... Informationen usw. haben, und genug gewarnt werden, und trotzdem nicht aufhören damit.
- I: Und warum, glaub ihr, ist es hier so, dass das Kind das zeigt?
- M1: Weil es die Jugend... also, Greta Thunberg hat... also Friday for Futures hat... also sie hat ja quasi das Ganze in den Prozess gebracht, dass überhaupt die Jugendliche jetzt dafür sind. Und, ich glaub, den Älteren is es... also, weil es uns ja eher angeht, weil es unsere Zukunft ist und unsere Kinder dann auch im späteren Leben betroffen werden, sind wir eher für solche Themen....
- M2: Und auch bei den Kindern, bei uns wird das auch eigentlich schon in der Schule beigebracht, man spricht halt darüber- bei den Älteren, ja...
- M1: Also, die denken sich, sie sind in ihrer Zeit gut durchgekommen.
- I: Und spricht ihr mit euren Eltern darüber?
- M1: Ja.
- M2: Nein, nicht wirklich.
- J1: Nein, bringt nix. Man muss einfach selber machen. Das ist das einzige, was man machen kann.
- I: Und wart ihr demonstrieren?
- J1: Ja, ich war.
- J2: Freitag, nein.
- M1: Leider nein- weil das ist immer in der Schulzeit irgendwie und dann...
- I: Okay, passt- das war's. Falls ihr noch irgendwelche Fragen habt? [*Schülerinnen und Schüler schütteln Kopf*] Gut, dann vielen herzlichen Dank, dass ihr da mitgemacht habt.

I. Testantworten

11. Wissenstest

Die Fragen zu dem Test sind in Abschnitt 6.1 auf S. 76 zu finden.

Schüler/Schülerin 1

#	erster Test	zweiter Test
1	Venus: Es ist dort wegen der dicken wolken-schicht sehr bewölkt. Es hat dort ca. 150 Gradcelcius, da der Planet in der Nähe von der Sonne ist. Außerdem ist es sehr windig am Planet.	Auf der Erde hat sich das Klima im Vergleich zu damals durch den natürlichen Treibhaus-effekt geändert
2	Falsch	Falsch
3	In dem durch Industrien, Autos usw. der CO ₂ , Lachgas Ausstoß und der Ausstoß von andere ähnlichen Gasen vermehrt wurde ist die Autmasphäre dichter geworden, wo-durch weniger Sonnenstrahlen zurück ins Weltall reflektiert werden.	Der Sonnenstrahl der auf die Erde kommt wird zurück reflektiert, doch durch die Ga-se in der Atmosphäre wird ein Teil wieder zurück auf die Erde reflektiert.
4	FCKWs, N ₂ , CH ₄ , CO ₂	FCKWs, CH ₄ , N ₂ O, CO ₂
5	1. Weniger Fleisch essen / 2. mehr in Lands Produkte kaufen / 3. Weniger mit Autos fah-ren	Mehr mit öffentlichen Verkehrsmittel fahren statt mit dem Auto / Weniger Fleisch essen / Mehr regionale Produkte kaufen
6	Falsch	Wahr
7	Im Jahr 2000 war es in etwa 0.8 °C wär-mer als im Jahr 1890. / Seit 1890 ist die Temperatur stets gestiegen.	Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmo-sphäre stets gestiegen. / Im Jahr 2000 war es in etwa 0.8 °C wärmer als im Jahr 1890.
8	Falsch	Falsch
9	Es ist wärmer geworden / Es schneit weniger und es hat im Mai geschneit	Schneefall im Somner / Es war viel wärmer als je zu vor
10	Kyoto-Protokoll / Übereinkommen von Paris	Übereinkommen von Paris

Schüler/Schülerin 2

#	erster Test	zweiter Test
1	Der Kern von Mars wurde fest	Ich glaube es war die Venus, wo sich im In-neren ein Kern geformt hat und das einen Einfluss aufs Klima hatte
2	Falsch	Falsch
3	Sonnenstrahlen (UV-Strahlen) kommen auf die Erde. werden vom boden absorbiert aber ein Teil wird auch als Wärmestrahlung (In-frarotstrahlung) reflektiert und bei der At-mosphäre wird ein Teil von den Treibhausga-sen zurückreflektiert. Je mehr Treibhausgase desto stärker wird es an der Atmosphäre zu-rückgestrahlt	Die Sonneneinstrahlen werden an der Er-de reflektiert und dann bei der Atmosphäre durch die Treibhausgase wieder zurück re-flektiert, je mehr Treibhausgase, desto mehr wird wieder zurück reflektiert
4	FCKWs, N ₂ , CH ₄ , CO ₂	CH ₄ , FCKWs, CO ₂

5	nicht mit Flugzeugen reisen / Weniger Plastik konsumieren / Beim einkaufen darauf achten ob die produkte einen langen transport hatten	Öffentlich fahren / kein Plastik / regionale Produkte kaufen
6	Wahr	Wahr
7	Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen.	Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen. / Im Jahr 2000 war es in etwa 0.8 °C wärmer als im Jahr 1890.
8	Falsch	Falsch
9	Gletscher schmelzen / Es hat in Tirol geschneit obwohl wir schon frühling haben	Kürzere Winter / wenig Schnee
10	Kyoto-Protokoll / Übereinkommen von Paris	Kyoto-Protokoll / Übereinkommen von Paris / Lissabon-Strategie

Schüler/Schülerin 3

#	erster Test	zweiter Test
1	Mars: Durch den Verlust seines Magnetischen Feldes löste sich ein Teil seiner Ozonschicht und verursachte, dass die Temperatur im Allgemeinen niedriger wurde.	Die 4 Eiszeiten auf der Erde hatten große Auswirkungen auf das Klima der Erde.
2	Falsch	Falsch
3	Treibhausgase werfen die Ir-Strahlen des UV-Lichts von der Sonne zurück auf die Erde nachdem diese auch bereits von der Erdoberfläche reflektiert wurden.	Verursacht durch Treibhausgase in der Erdatmosphäre, dadurch werden die Sonnenstrahlen auf die Erde zurück reflektiert und es erhöht sich dementsprechend die Temperatur auf globaler Basis.
4	FCKWs, N ₂ , CH ₄ , CO ₂	FCKWs, CH ₄ , N ₂ O, CO ₂
5	1) "Internet-Fasten" / 2) Die Nutzung öffentlicher Verkehrsmitteln / 3) Haushaltsgeräte weniger verwenden	Sparsamer mit Strom umgehen / mehr öffentlich fahren / recycling
6	Wahr	Wahr
7	Im Jahr 2000 war es in etwa 0.8 °C wärmer als im Jahr 1890. / Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen.	Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen.
8	Wahr	Wahr
9	Weniger Schnee im Winter / Niederschlag im Sommer mehr	Es kam zu weniger Niederschlag und Schneefall in den letzten Jahren.
10	Lissabon-Strategie / Übereinkommen von Paris	Kyoto-Protokoll / Übereinkommen von Paris

Schüler/Schülerin 4

#	erster Test	zweiter Test
1	Erde: Wie zum Beispiel die Treibhausgase (von menschen verursachten Treibhausgas, Autos, Fabriken, usw.)	Erde: Müllverbrennung, CO ₂ -Emissionen, Verwendung von Plastik
2	Wahr	Wahr

3	zum beispiel durch autos verursachte treib- hauseffekte durch benzin können aus der erdatmosfera schwer raus und werden da- her zurück auf den Boden gestrahlt oder auch die sonne, die strahlen werden reflekt- tiert und kommen zurück auf den Boden auf. So erwärmt dich der Boden	—
4	FCKWs, N ₂ , CH ₄ , CO ₂	[Wegen Problemen mit der App nicht beant- wortbar]
5	zum beispiel statt auto fahren mit dem öf- fentlichen Verkehr, weniger duschen oder auch essen	Elektromobilität, Mülltrennung von Plastik zb und Müllverbrennung
6	Falsch	Falsch
7	Im Jahr 2000 war es in etwa 0.8 °C wärmer als im Jahr 1890. / Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen.	Im Jahr 2000 war es in etwa 0.8 °C wärmer als im Jahr 1890. / Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen.
8	Wahr	Wahr
9	die gletscher schmelzen und der wintertou- rismus wäre in gefahr	—
10	Kyoto-Protokoll / Übereinkommen von Paris	Kyoto-Protokoll / Übereinkommen von Paris

Schüler/Schülerin 5

#	erster Test	zweiter Test
1	mars: Magnetfeld ist zusammengebrochen	Mars, einsturz des magnetfelds
2	Wahr	Wahr
3	Die Sonnenstrahlen werden vom Boden re- flektiert und wieder in den All geschickt. wir menschen verursachen aber zugleich auch viel zu viel Treibhausgase mit Industiren, Au- tos, etc. wodurch sich die teilchen vermeh- ren und die sonnenstrahlen nicht mehr so schnell aus der erdatmosphäre hinausgelan- gen	Wenn zu viel CO ₂ ausgestoßen wird sam- melt es sich bei der ozonschicht die infrarot- strahlen kommen hinein aber schwer wieder hinaus die ozonschicht wird erwärmt es wird heißer
4	FCKWs, CH ₄ , CO ₂	FCKWs, N ₂ , CH ₄ , CO ₂
5	fahrrad oder öffentliche verkehrsmittel be- nutzen / weniger plastik, mehr recyclebares / aufpassen wo ich einkaufe, second hand kleidung / stecker aus steckdosen ziehen	Kein plastik einkaufen / second hand / öf- fentliche verkehrsmittel verwenden / weni- ger heizen
6	Wahr	Wahr
7	Im Jahr 2000 war es in etwa 0.8 °C wärmer als im Jahr 1890. / Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen.	Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der At- mosphäre stets gestiegen. / Im Jahr 1990 gab es den höchsten CO ₂ -Gehalt in der At- mosphäre.
8	Wahr	Wahr
9	Im winter schneit es weniger / sommmmer werden heißer / es schneit im Mai	Ungewöhnliche temperaturen zu bestimmten jahreszeiten / schnee im sommer
10	Übereinkommen von Paris	Übereinkommen von Paris

Schüler/Schülerin 6

#	erster Test	zweiter Test
1	Erde: Vulkanausbrüche, Anstieg des Meeresspiegels, Erdbeben, Tsunamis	Erde, die von uns erzeugte Kohlenstoffdioxid wird in Zukunft einen Einfluss auf die Erderwärmung haben
2	Falsch	Wahr
3	Treibhausgase verursachen den Treibhauseffekt. Besser gesagt kommt der Treibhauseffekt von uns, weil wir mit den Gasen schlecht umgehen und viel CO ₂ produzieren. Man nennt ihn auch Glashauseffekt.	Durch der Verkehr, durch die Haushalt und durch die Industrie
4	FCKWs, CH ₄ , N ₂ O, CO ₂	[Wegen Problemen mit der App nicht beantwortbar]
5	Auf die Autos verzichten und öfter mit dem Fahrrad spazieren / Energiesparlampen benutzen / Die Badezeit kürzen	Innerhalb von Wien nur mit Öffis unterwegs sein / Energiesparlampen benutzen / Müll recyceln
6	Wahr	Falsch
7	Seit 1890 ist die Temperatur stets gestiegen. / Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen.	Seit 1890 ist die Temperatur stets gestiegen. / Im Jahr 2000 war es in etwa 0.8 °C wärmer als im Jahr 1890.
8	Wahr	Wahr
9	Im Sommer und ist es wärmer als im Vergleich zu vergangenen Jahren.	Verkehr und Industrie
10	Kyoto-Protokoll / Übereinkommen von Paris	Kyoto-Protokoll / Übereinkommen von Paris

Schüler/Schülerin 7

#	erster Test	zweiter Test
1	Mars : der Kern hat sich ausgelöscht daher ist auf diese planet viel kälter, es gibt sehr viel CO ₂ im Form vom Eis aber. es können temperaturen von -18°C herrschen	Da habe ich gefehlt :)
2	Falsch	Wahr
3	sichtbares Licht kommt durch die atmosphäre in Form vom UV strahlen. dies wird von unserem Boden absorbiert und so wird es wärmer. ein Teil aber wird aber wieder reflektiert in Form von IR Strahlen	Lichtstrahlen kommen auf Erde in Form von UV Lichter durch die Atmosphäre. Ein Teil davon wird von der Erde aufgenommen (Dadurch wird es wärmer) und der Rest wird wieder reflektiert. Dadurch aber dass es zu viele Treibhausgase gibt kann es nicht raus aus der Atmosphäre (in Form von IR). Und nur ein Teil geht aus der Atmosphäre, Und der Rest wird wieder Richtung Erde reflektiert.
4	FCKWs, CH ₄ , N ₂ O, CO ₂	[Wegen Problemen mit der App nicht beantwortbar]
5	weniger mit dem flugzeug fahren (allgemein weniger Verkehrsmittel). / weniger mein computer , handy , Fern benutzen / In ein neueres und kleineres Haus wohnen	Mehr Fahrrad fahren / weniger Fleisch essen / Regionalprodukte kaufen
6	Wahr	Wahr

7	Im Jahr 2000 war es in etwa 0.8 °C wärmer als im Jahr 1890. / Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen.	Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen. / Seit 1890 ist die Temperatur stets gestiegen. / Im Jahr 2000 war es in etwa 0.8 °C wärmer als im Jahr 1890.
8	Falsch	Falsch
9	weniger Schnee im winter / klima störungen (sehr kalt und viel regnen bzw schneien in Mai) / Sommer wird heißer und trockene	Nicht mehr so viel Wind / kälter als normal wegen dem Meeresströmungen
10	Kyoto-Protokoll / Übereinkommen von Paris	Übereinkommen von Paris

Schüler/Schülerin 8

#	erster Test	zweiter Test
1	Erde: Vor allem der hohe Anteil an CO ₂ führt zur Globalen Erwärmung.	Erde. Seit der Industrialisierung und dadurch die steigenden CO ₂ -Emissionen führen zur Erwärmung des Klimas. Diese Emissionen werden durch Menschen produziert indem sie auto fahren, fliegen, usw.
2	Wahr	Falsch
3	Die Sonnenstrahlen gelangen durch die Erdatmosphäre auf den Boden. Diese Wärme sollte zurückgestrahlt werden, jedoch klappt es nicht so gut wegen dem hohen Anteil an CO ₂ . Der Treibhauseffekt entsteht durch die unterschiedlichsten Gase	keine Ahnung
4	FCKWs, O ₂ , CH ₄ , CO ₂	N ₂ , O ₂ , FCKWs, CO ₂
5	Öffentliche Verkehrsmittel benutzen / weniger Fliegen / zu Fuß gehen	Nicht fliegen / öffentliche Verkehrsmittel verwenden / Rad fahren
6	Wahr	Wahr
7	Seit 1890 ist die Temperatur stets gestiegen.	Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen. / Seit 1890 ist die Temperatur stets gestiegen.
8	Wahr	Falsch
9	Das Klima ändert sich gewaltig (zb in Tirol hat es letzte Woche geschneit) & es entstehen auch Waldbrände	Unerträgliche Hitze, im Winter hat es noch 10 grad
10	Kyoto-Protokoll / Übereinkommen von Paris	Übereinkommen von Paris

Schüler/Schülerin 9

#	erster Test	zweiter Test
1	Mars: Kurz nach der Entstehung vom Mars kühlte sein Kern ab. Das Magnetfeld ging verloren und der Planet ist eine kalte Wüste	Mars: auflösen des Magnetfeld durch Schrumpfung des Kerns, kalt, trocken, des Öfteren auch Stürme
2	Wahr	Falsch

3	Die strahlen der Sonne werden zurück reflektiert und somit auch ihre Wärme, Treibhausgase in der Ozonschicht sorgen aber dafür das ein Teil wieder zurück zur Erde reflektiert wird. Durch die globale Erwärmung entstehen mehr Treibhausgase und somit wird auch zu viel Wärme wieder zurückreflektiert	Sonnenstrahlen fallen ein, die Treibhausgase verdicken die Ozonschicht und nur Teile der Sonnenstrahlen die vom Boden reflektiert werden verlassen die Erdatmosphäre, der andere Teil wird zurückreflektiert und dies führt zur Erwärmung der Erde
4	FCKWs, O ₂ , N ₂ O, CO ₂	[Wegen Problemen mit der App nicht beantwortbar]
5	Haushaltsgeräte sparsam nutzen / Regionale und bioproducte kaufen / Auf Reisen verzichten	Umstieg auf solarpanele / Nutzung von Autos motorrädern etc reduzieren / ordentliche Trennung vom Müll
6	Wahr	Wahr
7	Im Jahr 2000 war es in etwa 0.8 °C wärmer als im Jahr 1890. / Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen.	Im Jahr 2000 war es in etwa 0.8 °C wärmer als im Jahr 1890.
8	Falsch	Wahr
9	Im Winter schneit es weniger / Die Sommer werden immer heißer / In tirol hat es geschneit	Schmelzen der Gletscher / wärmere Sommer
10	Kyoto-Protokoll / Übereinkommen von Paris	Übereinkommen von Paris

Schüler/Schülerin 10

#	erster Test	zweiter Test
1	Venus: Es bildete sich CO ₂ , welches die Sonnenstrahlen nicht entweichen lies. Deshalb erhitze sich der Planet.	Mars hatte früher eine Atmosphäre, die aufgrund der Größe des Planeten langsam zerfallen ist.
2	Falsch	Falsch
3	Sonnenstrahlen treffen in die Erde ein, werden vom Boden reflektiert, können aber nicht durch die Atmosphäre entweichen, weil zu viel CO ₂ vorhanden ist. (Infrarotstrahlung bleibt auf der Erde)	Die Sonnenstrahlen treffen auf die Erde, die vom Boden wieder reflektiert werden. Die Treibhausgase lassen die Infrarotstrahlung, die für die Wärme zuständig ist, nicht aus der Atmosphäre ausweichen. Die Infrarotstrahlung wird wieder auf die Erde reflektiert und verursacht eine Temperaturerhöhung.
4	FCKWs, CH ₄ , N ₂ O, CO ₂	[Wegen Problemen mit der App nicht beantwortbar]
5	Regionale Produkte kaufen / Weniger Fleisch konsumieren / Nicht zu viel auf Social Media Seiten sein	Regionales Fleisch essen bis gar kein Fleisch / weniger soziale Plattformen nutzen / weniger mit Autos bzw. Flugzeuge fahren/fliegen
6	Wahr	Wahr
7	Im Jahr 2000 war es in etwa 0.8 °C wärmer als im Jahr 1890. / Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen.	Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen. / Im Jahr 1990 gab es den höchsten CO ₂ -Gehalt in der Atmosphäre. / Im Jahr 2000 war es in etwa 0.8 °C wärmer als im Jahr 1890.
8	Falsch	Falsch

9	Wärmere Sommerzeiten / Kältere Winterzeiten / Weniger Schnee im Winter	Skipisten benötigen mehr künstlichen Schnee
10	Kyoto-Protokoll / Übereinkommen von Paris	Übereinkommen von Paris

Schüler/Schülerin 11

#	erster Test	zweiter Test
1	venus: das verdampfen der ozeane und die dadurch gebildete dichte atmosphäre	Venus, Dichte Atmosphäre durch Verdunsten Früher bestehender giftiger Seen und Meere
2	Falsch	Falsch
3	ein Teil der Sonneneinstrahlung wird von der Erde absorbiert, ein Teil reflektiert und wieder zurückgeworfen. Ist jetzt die Atmosphäre zum Beispiel durch viele Gase wie CO ₂ verunreinigt, kann das reflektierte Licht nicht so leicht aus der Atmosphäre wieder austreten und bleibt in ihr drinnen.	Treibhausgasen lassen reflektierte Wärme der Sonne nicht austreten = Erwärmung der Atmosphäre
4	FCKWs, CH ₄ , CO ₂	CH ₄ , FCKWs, CO ₂
5	auf ein eigenes Auto verzichten oder Alternativen wählen / nicht so oft mit dem Flugzeug verreisen / keine unnötige Energie verbrauchen die wiederum Wärme erzeugt (zum Beispiel das Licht brennen lassen)	Verzicht auf belastende Transportmittel (Privatwagen, Flugzeug,...) / Umweltfreundliche Betriebe fördern, kein Geld an Umweltbelastende Unternehmen geben / Nachhaltigere Sachen kaufen und verwenden (Glasflaschen,...)
6	Wahr	Wahr
7	Im Jahr 2000 war es in etwa 0,8 °C wärmer als im Jahr 1890. / Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen.	Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen. / Im Jahr 2000 war es in etwa 0,8 °C wärmer als im Jahr 1890.
8	Falsch	Wahr
9	weniger Schnee im Winter / bemerkbar an den kürzer andauernden Wintersaisons / wärmere Sommer	Längere Dürreperioden / weniger Schneefall
10	Kyoto-Protokoll / Übereinkommen von Paris	Kyoto-Protokoll / Übereinkommen von Paris

Schüler/Schülerin 12

#	erster Test	zweiter Test
1	Erde: die Meteoriteneinschläge haben zu großen Veränderungen geführt. Der frühere sehr starke Vulkanismus hat viel Feinstaub in den Himmel geschossen und durch die dunklen Wolken oder Hemmungen in der Luft zu Klimaveränderungen geführt.	Die Treibhausgasen haben besonders viel Auswirkungen auf der Erde
2	Falsch	Falsch

3	Durch Treibhausgase entsteht der Treibhauseffekt. Wenn wir Menschen fossile Stoffe oder Stoffe wie O ₃ oder FCKW benutzen, entsteht der Treibhauseffekt. Die Treibhausgase lagern sich in höheren Lagen in der Atmosphäre - Sonnenstrahlen treten ein - ein Teil wird absorbiert - der andere mit Wärmeenergie reflektiert - die Treibhausgase reflektieren sie wieder zurück auf die Erde.	Durch Treibhausgase (FCKWs, CO ₂ , CH ₄ , etc...)
4	FCKWs, CH ₄ , N ₂ O, CO ₂	CH ₄ , FCKWs, CO ₂
5	weniger Auto fahren / weniger Öffentliche Verkehrsmittel benutzen / weniger Strom verbrauchen	Weniger Auto fahren / weniger Plastik kaufen / weniger Strom verbrauchen
6	Wahr	Wahr
7	Im Jahr 2000 war es in etwa 0,8 °C wärmer als im Jahr 1890. / Seit 1890 ist die Temperatur stets gestiegen.	Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen. / Im Jahr 2000 war es in etwa 0,8 °C wärmer als im Jahr 1890.
8	Falsch	Wahr
9	weniger Schnee / heißerer Sommer / schlechtere Ernten	Weniger Schnee / heißere Sommer
10	Übereinkommen von Paris	Übereinkommen von Paris

Schüler/Schülerin 13

#	erster Test	zweiter Test
1	Venus: ist sehr heiß bis zu 470 Grad	Am Mars ist es in der Früh extrem heiß in der Nacht extrem kalt
2	Wahr	Wahr
3	durch die Abgase der z.B. Autos, Flugzeuge usw. wird die Ozon-Schicht dicker	Durch Ausstoß von CO ₂
4	FCKWs, N ₂ , CH ₄ , N ₂ O	CO ₂
5	falls ich mal ein Auto haben dann ein Elektroauto kaufen / nicht ständig Handys kaufen bzw. neue elektrische Sachen / weniger Plastik verwenden oder gar kein	Mehr Öffentlich fahren / viel fliegen vermeiden / weniger Plastik
6	Wahr	Falsch
7	Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen.	Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen. / Seit 1890 ist die Temperatur stets gestiegen.
8	Falsch	Falsch
9	die Winter sind sehr kalt z.B. letztes hat es in Tirol geschneit und die Sommer sehr heiß und schwül	Hoher CO ₂ Ausstoß / Plastik
10	Kyoto-Protokoll / Übereinkommen von Paris	Kyoto-Protokoll

Schüler/Schülerin 14

#	erster Test	zweiter Test
1	die Erde war früher sehr heiß	Erderwärmung
2	Wahr	Falsch

3	die sonnenstrahlen treffen auf den Boden und erwärmen ihn absorbieren ein teil wird wieder zurück reflektiert(Ir strahlungen) sie geht durch die atmosphäre ins all, treibhausgase gelangen auf den boden und können nicht mehr raus sozisagen	Die Sonne schickt kurzwellige Strahlung auf die Erde ein teil wird auf die äußerste Atmosphäre reflektiert
4	FCKWs, CH ₄ , N ₂ O, CO ₂	CH ₄ , FCKWs, CO ₂ , N ₂ O
5	Mobilität / Wohnen / Konsum	Müll trennen / papier vermeiden
6	Wahr	Wahr
7	Im Jahr 2000 war es in etwa 0.8 °C wärmer als im Jahr 1890. / Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen.	Im Jahr 2000 war es in etwa 0.8 °C wärmer als im Jahr 1890.
8	Wahr	Wahr
9	in einer schmilzt es weniger / sommer werden heisser / winter werden heisser	—
10	Übereinkommen von Paris	Kyoto-Protokoll

Schüler/Schülerin 15

#	erster Test	zweiter Test
1	Mars: weil der erdkern im mars abgekühlt ist, gibt es auch kein gravitationsfeld mehr und somit auch keine atmosphäre. es herrschen sandstürme und gewitter. die achse ändert sich auch oft weshalb unregelmäßiges wetter herrscht.	—
2	Falsch	—
3	Die sonne strahlt uv strahlen auf die erde und diese werden als wärmestrahlung zurück reflektiert und die treibhausgase reflektieren einen teil wieder auf die erde herunter. wenn aber zu viele treibhausgase vorhanden sind, wird auch mehr wieder zurück gestrahlt und es wird wärmer.	—
4	O ₂ , N ₂ , CH ₄ , CO ₂	—
5	flüge reduzieren / den öffentlichen Verkehr benutzen / weniger fleisch und produkte vom ausland kaufen	—
6	Wahr	—
7	Im Jahr 2000 war es in etwa 0.8 °C wärmer als im Jahr 1890. / Seit 1890 ist die Menge an CO ₂ in der Atmosphäre stets gestiegen.	—
8	Falsch	—
9	—	—
10	Kyoto-Protokoll / Übereinkommen von Paris	—

12. Schülerinnen und Schüler-Feedback am Schluss der Einheiten

SuS #	Hast du in den letzten vier Stunden etwas Neues gelernt?	Nenne einige Aspekte der letzten Stunden, die für dich neu waren!	Worüber hättest du gerne mehr erfahren?	Mit diesen drei Adjektiven würde ich den Unterricht beschreiben:	War der Unterricht abwechslungsreich gestaltet?	Waren die Arbeitsaufträge für die Hausübungen klar formuliert?	Was du mir sonst noch sagen wolltest.
1	–	–	–	–	–	–	–
2	Ja	wie genau der Treibhauseffekt funktioniert / Wie sehr wir einen Einfluss darauf haben was ich dagegen tun könnte	Nichts, alles hat gepasst	interaktiv / informativ / locker	Ja	Jup, kannte mich gut aus-kein Problem!	Super Unterricht / das Experiment mit arktis antarktis war gut
3	–	–	–	–	–	–	–
4	Ja	Das es zum beispiel unterschiedliche auswirkung hat wo das Eis schmilzt (ob Arktis oder Antarktis)	Klimawandel	interessant / kreativvoll / nett	Ja	Jup, kannte mich gut aus-kein Problem!	nein
5	Ja	das duruchgearbeitet was wir beigetragen haben	über die zukunft	spannend / informativ / lustig	Ja	Jup, kannte mich gut aus-kein Problem!	es war toll, dass wir so viele Experimente gemacht haben. ich wünsche ihnen alles gute für ihre weitere Ausbildung. sie werden eine wirklich tolle professorin

6	Ja	Der Treib- hauseffekt / Das Schmel- zen der Eiskappen / Eigen- schaften von Planeten (zum Teil haben wir besprochen)	Planeten	informativ / lustig / lässig	Ja	Jup, kannte mich gut aus- kein Problem!	Ich hoffe, dass Sie in Zukunft bei uns weiter unterrichten
7	Ja	neue lustige und spannen- de experimen- te	was könnte machen um besser zu sein für unserer Umwelt	spannend / kreativ / educativ	Ja	Jup, kannte mich gut aus- kein Problem!	viel Glück noch auf die Uni Wien :) und hören sie nicht auf zu unterrichten :)
8	Ja	Dass es auf anderen Pla- neten einen Klimawandel gibt / Sachen über den Treibhausef- fekt	mehr Mög- lichkeiten die Globale Erwärmung zu stoppen und über das Klima auf Jupiter zum Beispiel	sspannend / kreativ / in- formativ	Ja	Ja, aber mehr Informatio- nen wären hilfreich gewesen	Mir hat der Unterricht mit Ihnen sehr gefallen, wünschte wir hätten sie als unsere fixe- Physiklehrerin. danke für al- les :)
9	Ja	Neu und span- nend war der interaktive Unterricht	Venus, Mars und Erde da ich sehr große Interesse an astronomie habe	Spannend / interaktiv / abwechs- lungsreich	Ja	Jup, kannte mich gut aus- kein Problem!	Der Unter- richt war spannend aber man merkt ihnen ein bisschen die nervösi- tät an. Sie gestalten den Unterricht sehr abwechs- lungsreich keine Stunde ist wie die andere
10	Ja	Elemente der Luft	Planeten	Spannend / Verständlich / Kreativ	Ja	Jup, kannte mich gut aus- kein Problem!	Ihre Sprache ist leicht ver- ständlich

11	Ja	zum beispiel die darstellung eines treibhauseffekts mithilfe einer glaskuppel, oder die demonstration des schmelzens der eiskappen	eventuell über die möglichkeiten die wir als normalbürger hätten um dem umweltschutz im aölgemeinen entgegenzuwirken	interessant / anders / informativ	Ja	Jup, kannte mich gut aus-kein Problem!	passt alles
12	Ja	dass das Schmelzen der Antarktis mehr Folgen hat	was noch getan wird zur reduktion	kreativ / aufwendig vorbereitet interaktiv	Ja	Jup, kannte mich gut aus-kein Problem!	nicht zu viel vornehmen im Unterricht - es kann so oft knapp werden, wenn die Klasse nicht so konzentriert ist
13	Ja	der ganzer ablauf vom globalen Erwärmung also wie das funktioniert / wie sehr Co2 unsere erde schadet	weis ich nicht	Spannend / Nicht so langweilig und monoton / meistens auch lustig / angenehm zu zu hören	Ja	Nicht wirklich, aber meine Mitschüler konnten mir weiterhelfen	weis nicht aber es waren tolle stunden danke dafür :)
14	Ja	meerespiegel / co2 verbrauch usw	nordpol / süd-pol	spannend / cool / chillig	Ja	Jup, kannte mich gut aus-kein Problem!	:)
15	Ja	Den einfluss den die antarktis hat	-	informatif / leicht mit zu folgen / locker	Ja	Jup, kannte mich gut aus-kein Problem!	mir hat die art in der Sie unterrichtet haben sehr gefallen, der unterricht war gut mit zu folgen und locker gestaltet, es war auch nicht langweilig. alles in einem können Sie sehr gut unterrichten :)

13. Offene Fragen nach persönlicher Meinung

SuS Frage 5	Frage 6
1 Die Politiker, weil sie im Endeffekt das Land regieren und sie sind die einzigen die für den Klimawandel Maßnahmen ergreifen können / Die Politiker könnten Autos abschaffen	Mit meiner Schwester über das Thema diskutiert
2 Unser Staat, weil sie sehr viel bewirken können indem sie neue Gesetze schließen.	Ich habe versucht so wenig wie möglich Plastik zu benutzen, regional Produkte zu kaufen, mehr mit Fahrrad und zu Fuß. Die andere zu überzeugen dass etwas geändert sein muss.
3 Jugend sowie Politik / Jugend: Durch Demonstrationen und durch die Wahl der Parteien die etwas für den Klimaschutz unternehmen / Politik: Mehr acht auf die Umwelt geben, Stimme der Jugendlichen erhöhen und auf Kompromisse eingehen	Recyclen tue ich eigentlich schon seit ungefähr 5 Jahren, sonst habe ich nichts aktives unternommen
4 Die Regierung, weil sie eher die ausschlaggebenden Maßnahmen ergreifen können. Die Bevölkerung kann aber auch wichtige Schritte machen, wenn es alle miteinander machen.	Recycled
5 Die junge Generation, damit meine ich auch mich. Da es uns in Zukunft betrifft und wir uns damit beschäftigen müssen. Wie schon erwähnt durch Reduktion von CO ₂ -Emissionen.	Nein
6 Staat, Politiker, Unternehmer, wir selber	Recycled, immer die Öffis benutzt, weniger Plastik eingekauft
7 Jugendliche aber auch Erwachsene, schließlich nehmen sich Jugendliche die Erwachsene als Vorbild, indem man CO ₂ vermeidet zum Beispiel	Mit Eltern über das Thema gesprochen
8 Alle bestehenden Staaten. Die größten Treibhausgasproduzenten sind oftmals Dritte Welt Länder, welche nicht die Mittel und Technologien haben um auf sauberere Energie umzusteigen. Aus diesem Grund muss jeder Staat zur Förderung dieser Krisenbewältigung beitragen. Jedoch ist auch anzumerken, dass Länder wie China, die USA oder Indien wesentlich mehr zu dieser Katastrophe beitragen als Länder wie Österreich oder andere kleine Länder.	wir haben zuhause angefangen ordentlich Müll zu trennen (insbesondere Plastikflaschen)
9 Vor allem Personen, die nicht gut informiert sind, sollten ihre eigene Meinung bilden und dann auch aktiv dagegen etwas tun.	War aktiv beim Friday for Future dabei

10	Die meisten Politiker, da auf diese gehört wird. Außerdem können Gesetze die zur Verhinderung des Klimawandels sind eingeführt werden	Recycled / Zu Hause über das Thema besprochen, aber auch mit Freunden / Mehr mit den öffentlichen Verkehrsmittel gefahren als mit meinen Eltern mit dem Auto
11	Jugendliche, weil es uns am meisten trifft	recycled
12	Jeder, natürlich sollten sich Politiker und der Staat mehr darum kümmern aber es liegt auch an jedem einzelnen von uns etwas dagegen zu tun, wir dürfen nicht einfach darauf warten, dass die anderen etwas machen	Ich spreche mit meinen Eltern darüber aber es scheint sie nicht zu sehr zu interessieren, ich versuche meinen Plastikkonsum zu verringern, wenn ich eine Plastikflasche kaufe achte ich darauf sie für eine längere Zeit zu benutzen bevor ich sie wegwerfe und mir dann eine neue kaufe
13	Ältere Menschen	Demonstratiert
14	Die Regierung durch mehr Maßnahmen	Beim "Friday-for-future" mitgemacht

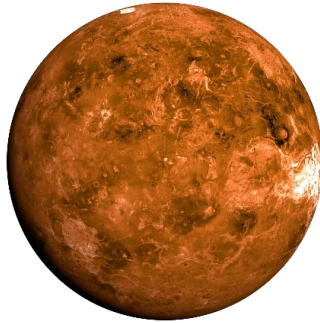
J. Überarbeitetes Unterrichtsmaterial

J1. Überarbeitete Planeten-Texte

Erdzwilling mit Treibhauseffekt

(Quelle: <https://www.faz.net/aktuell/wissen/weltraum/venus-erdzwilling-mit-treibhauseffekt-1489942.html>, 28.11.2007

gekürzt und adaptiert)



Die Venus ist der Erde ähnlicher als bislang vermutet - und doch ist die eine Gluthölle, die andere vergleichsweise paradiesisch. Die europäische Raumsonde Venus Express hat Daten geliefert, die erklären, warum die beiden Planeten sich so unterschiedlich entwickelten.

Die Venus, wenngleich unser Nachbarplanet, war lange Zeit ein besonders mysteriöser Himmelskörper. Weil sie von einer für Lichtstrahlen undurchdringlichen Wolkenschicht umgeben ist, an deren Oberseite nach jetzt veröffentlichten Messdaten der europäischen Raumsonde Venus Express orkanartige Windgeschwindigkeiten von bis zu 360 Kilometern pro Stunde herrschen, konnte bis in die sechziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts hinein über die Verhältnisse an ihrer Oberfläche nur spekuliert werden.

Erst die Messungen der amerikanischen Raumsonde Mariner 2 im Jahr 1962 ließen erahnen, dass auf der Oberfläche der Venus extrem unwirtliche Verhältnisse herrschen - nach den heutigen Erkenntnissen mit Temperaturen von rund 460 bis 480 Grad Celsius und einem Druck von etwa 90 bar, was auf der Erde dem Wasserdruck in ungefähr 900 Metern Meerestiefe entspricht. Wissenschaftler versuchen die Klimageschichte des Planeten für die vergangene Milliarde Jahre zu rekonstruieren. Mit Hilfe detaillierter Computersimulationen erkannten sie, dass ein intensiver Vulkanismus großräumige klimatische Veränderungen ausgelöst haben muss. Die Venus besitzt, wie die Erde, aber im Gegensatz zu allen anderen bekannten Planeten, auch heute noch ein komplexes, sich weiterentwickelndes Klima.

Dass die beiden Planeten trotz ihrer heutigen Unterschiede als Zwillinge gelten, liegt an den recht ähnlichen äußeren Parametern. Die Venus hat knapp 82 Prozent der Erdmasse und 86 Prozent des Erdvolumens, und ihr mittlerer Radius ist mit 6052 Kilometern nur geringfügig kleiner als jener der Erde, der 6371 Kilometer beträgt. Auch die Abstände von der Sonne - 108 Millionen Kilometer bei der Venus und 150 Millionen Kilometer bei der Erde - scheinen sich nicht erheblich zu unterscheiden.

Am Anfang dürfte die Venus etwa ebenso viel Wasser wie die Erde und auch ungefähr ebenso viel Kohlendioxid wie unser Heimatplanet gehabt haben. Aber auf der Venus war es von Anfang an wärmer, was aus der - wenn auch nicht wesentlich - unterschiedlichen Distanz zur Sonne folgt. Deshalb verdampfte ein größerer Anteil des Wassers aus den Meeren, die es auch auf unserem kosmischen Nachbarn früher wohl gegeben hat, und baute eine Atmosphäre mit viel Wasserdampf auf.

Dieses erzeugte einen Treibhauseffekt. Auf der Venus wurde es heißer, die Ozeane verdampften. Dadurch gaste eine große Menge an Kohlendioxid aus den Gesteinen in die Atmosphäre aus, die heutzutage zu 96,5 Prozent aus diesem Treibhausgas besteht.



Klimawandel auf der Erde

(Quelle: [https://www.planet-schule.de/mm/die-erde/Barrierefrei/pages/Warum gibt es Eis- und Warmzeiten Natuerliche Klimaveraenderungen.html#mainnavigation](https://www.planet-schule.de/mm/die-erde/Barrierefrei/pages/Warum_gibt_es_Eis-und_Warmzeiten_Natuerliche_Klimaveraenderungen.html#mainnavigation), 01.02.2019
gekürzt und adaptiert)

Die Klimageschichte der Erde ist geprägt durch einen ständigen Wandel. Was die natürlichen Klimaveränderungen auslöst, versuchen Klimaforscher seit langem herauszufinden. Erklärungsversuche reichen von der sich leicht ändernden Bewegung der Erde um die Sonne, in der Verteilung der Kontinente oder in großen Naturkatastrophen wie etwa Vulkanausbrüchen verknüpft mit einer Änderung in der jeweiligen Zusammensetzung der Atmosphäre. Im Unterschied zu diesen natürlichen Klimaveränderungen im Lauf der Geschichte ist der aktuelle Klimawandel vom Menschen selbst verursacht.

Die Wissenschaft unterteilt die Erdgeschichte in verschiedene Abschnitte, die Äonen genannt werden. Das erste Äon (*Hadaikum*) begann vor 4.5 Milliarden Jahren, als die Erde entstand. Bereits kurz danach bildete sich eine erste Atmosphäre, die Uratmosphäre, aus. Diese Atmosphäre bestand vorwiegend aus Wasserstoff und Helium. Zu dieser Zeit herrschte auf der Erde jedoch noch eine sehr hohe Temperatur, was dazu führte, dass sich diese Atmosphäre nicht lange hielt.

Dieser erste Abschnitt endete vor etwa vier Milliarden Jahren mit der ersten großen Veränderung: Die Erde war so weit abgekühlt, dass die Oberfläche fest wurde – die Erde bekam eine Kruste und bildete eine erste stabile Atmosphäre aus. Der Ursprung dieser Atmosphäre lag in der starken Aktivität von Vulkanen und führte zu einer Anreicherung mit vor allem Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid und Stickstoff. Im Laufe der Zeit wurde der Anteil von Kohlendioxid und Stickstoff immer höher, auch weil sich der Wasserdampf langsam aufgrund der Abkühlung der Erde verflüssigte und als Dauerregen über Jahrtausende langsam Ozeane, Flüsse und Seen bildete. Die Entstehung des ersten Lebens fällt in diese Periode der Erdgeschichte. Es begann sich vermutlich in den Ozeanen in der Nähe von hydrothermalen Quellen zu bilden. Das griechische Wort für Ursprung oder Beginn steckt im Namen dieser Zeit: *Archaikum*.

Diese Organismen produzierten im Laufe der Zeit als Abfallprodukt ihres Stoffwechsels immer mehr Sauerstoff, was schließlich zur großen Sauerstoffkatastrophe vor etwa 2.4 Milliarden Jahre und zum nächsten Erdzeitalter führte: das *Proterozoikum*, das Zeitalter der ein- und mehrzelligen Organismen. Die Entwicklung des komplexen Lebens war nun aufgrund des Ausbildens der vor UV-Strahlung schützenden Ozonschicht möglich. In diesem Zeitalter kam es vermutlich drei Mal zu einer Vergletscherung der gesamten Erde (Schneeball-Erde-Vereisung).

Das Proterozoikum endete vor 550 Millionen Jahren mit einer Explosion des Lebens: Innerhalb kurzer Zeit entwickelte sich aus den primitiven Lebensformen eine enorme Artenvielfalt. Das Zeitalter des Lebens (*Phanerozoikum*) dauert seit 550 Millionen Jahren bis heute an. In diesem letzten Zeitalter gab es drei große Eiszeitalter, wobei wir uns immer noch im dritten befinden.



Eisige Staubwüste ohne Wasser Wetter und Klima auf dem Mars

(Quelle: <https://www.wetteronline.de/astronews/eisige-staubwueste-ohne-wasser-wetter-und-klima-auf-dem-mars-2018-11-25-ma>, 25.11.2018
gekürzt & adaptiert)

Er ist nur halb so groß wie die Erde, doch auf dem Mars toben Staubstürme, die mitunter den ganzen Planeten verhüllen. An seinen Polen fällt zudem Schnee aus gefrorenem CO₂ und er beherbergt den größten Vulkan unseres Sonnensystems.

Auch wenn der Mars seit jeher die Fantasie anregt, wissen wir heute, dass unser roter Nachbarplanet nur ein eisiger und knochentrockener Ort mit äußerst lebensfeindlichen Wetter- und Klimabedingungen ist.

Die Oberfläche des Roten Planeten ist von Vulkanen, Ebenen und gewaltigen Canyons geprägt. Selbst in den tiefsten Schluchten erreicht der Luftdruck der dünnen Atmosphäre nicht mal ein Prozent des Luftdrucks der Erde. So steigt die Temperatur selbst in den warmen Mittagsstunden nur selten über den Gefrierpunkt und sinkt nachts häufig auf 80 Grad unter Null. Noch eisiger geht es an den Polen zu, wo es im Winter bis zu minus 130 Grad kalt wird. Dort lagern gewaltige Kappen aus Trockeneis, unter denen sich hunderte Meter dicke Gletscher aus Wassereis verbergen. Halbwegs warm wird es nur rund um den Äquator, wo bei optimalen Wetterbedingungen kurzzeitig auch mal Werte über plus 20 Grad möglich sind. Dazu muss die Atmosphäre allerdings nahezu staubfrei sein. Im Mittel hat es auf dem Mars ca. -60°C.

Ein Marstag dauert mit rund 24.5 Stunden etwas länger als ein Tag auf der Erde. Und weil seine Achse derzeit mit 25 Grad eine ähnliche Neigung wie die Erdachse hat, gibt es auch auf dem Mars Jahreszeiten. Allerdings braucht der Rote Planet für einen Umlauf um die Sonne fast zwei Erdenjahre. Daher dauern seine Jahreszeiten auch doppelt so lang wie bei uns. Doch anders als die vom Mond stabilisierte Erdachse torkelt die Achse des Mars unruhig durchs All. Das hat in der Geschichte des Planeten wiederholt enorme Klimaschwankungen ausgelöst.

Kurz nach seiner Entstehung gab es auf dem Mars reichlich Wasser und eine dichte Atmosphäre ermöglichte vielleicht sogar ein lebensfreundliches Klima. Doch der Mars verlor knapp 500 Mio. Jahre nach seiner Entstehung sein, die Atmosphäre schützendes, Magnetfeld. Die UV-Strahlung der Sonne ionisierte die Atmosphärenteilchen und aufgrund des Fehlens des schützenden Magnetfelds konnten die geladenen Partikel des Sonnenwinds die ionisierten Teilchen nach und nach ins All blasen. Der Planet verwandelte sich daraufhin in die eisige Staubwüste, die er noch heute ist. Wasserdampf ist in seiner sehr dünnen Atmosphäre seither nur noch ein Spurengas, aus dem sich nur selten dünne Eiswolken formen. Hauptbestandteile der dünnen Atmosphäre sind heute Kohlendioxid und Spuren von Stickstoff und Argon.

J2. Überarbeitetes Arbeitsblatt Treibhauseffekt

Der anthropogene Treibhauseffekt

Video zum Nachschauen: <https://www.youtube.com/watch?v=q1wP42f5GAc> (letzter Zugriff: 16.02.2020)

1. Teil:

Gib an, was man unter dem Begriff „anthropogene Treibhausgase“ versteht!

Liste die wichtigsten Treibhausgase auf!

Gib an, welche Durchschnittstemperatur auf der Erde herrschen würde, wenn es keinen natürlichen Treibhauseffekt geben würde!

Erläutere, wodurch CO₂ produziert wird?



2. Teil:

Nenne eine alternative Bezeichnung für den Treibhauseffekt!

Erkläre kurz (in ganzen Sätzen), wie der Treibhauseffekt funktioniert- verwende dabei folgende Worte: Sonnenlicht, Atmosphäre, UV-Strahlung, reflektieren, IR-Strahlung, Treibhausgase, absorbieren, durchlassen, Temperatur.

Schildere den Einfluss des Menschen (und seines Handelns) auf den Treibhauseffekt (Stichwort anthropogener Treibhauseffekt)!

3. Teil:

Ordne die Treibhausgase ihrer Stärke nach: N₂O, CH₄, FCKWs, CO₂, O₃!

Erkläre, warum dennoch vor allem über den CO₂-Ausstoß gesprochen wird!

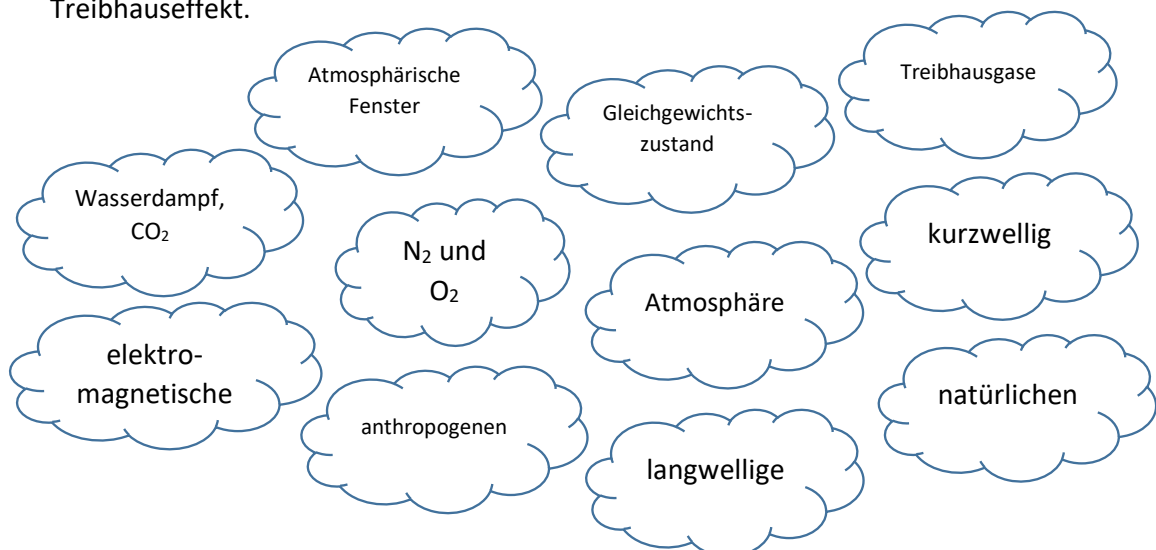
J3. Lückentext Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt

Unter dem Begriff Treibhauseffekt werden physikalische Vorgänge in der _____ zusammengefasst, die zu einer Erwärmung dieser führen. Der Treibhauseffekt, der in einer ähnlichen Form auch in Gewächshäusern wirkt, kann wie folgt beschrieben werden:



Die _____ Strahlung der Sonne trifft auf die Atmosphäre und wird dort je nach Wellenlänge entweder reflektiert, absorbiert oder dringt durch die Atmosphäre bis auf die Erdoberfläche ungehindert durch. Jene Wellenlängenbereiche der Atmosphäre, die Strahlung durchlassen, werden _____ genannt. Die Sonnenstrahlung, die auf den Erdboden trifft, ist vorwiegend _____ (UV-Strahlung und optische Strahlung). Die Erdoberfläche absorbiert den Großteil dieser Strahlung und reemittiert sie daraufhin als _____ Strahlung (IR-Strahlung). Der Großteil der Gase in der Erdatmosphäre, die ja vorwiegend aus _____ aufgebaut ist, lässt diese IR-Strahlung fast ungehindert ins Weltall entweichen. Bestimmte Gase, die als _____ bezeichnet werden, wie z.b. _____, CH_4 , N_2O oder FCKWs, absorbieren jedoch die IR-Strahlung und reemittieren sie in alle Richtungen. Dadurch wird ein Teil der IR-Strahlung zurück zur Erdoberfläche gelenkt, was zu einer Art Wärmestau führt. Durch die Erwärmung nimmt jedoch auch die ins Weltraum abgehende IR-Strahlung zu. Da das System Erdoberfläche/Atmosphäre immer nach einem _____ strebt, erwärmt sich das System so lange, bis die abgehende IR-Strahlung wieder die ankommende Sonnenstrahlung ausgleicht. IR-Strahlung wird also ständig zwischen der Erdoberfläche und der Atmosphäre hin- und hergeworfen. Die natürlichen Treibhausgase gab es seit der Entstehung der ersten Atmosphäre in dieser. Ohne dem _____ Treibhauseffekt läge die mittlere globale Temperatur bei -18°C statt den heutigen $+15^\circ\text{C}$. Die vom Menschen zusätzlich in die Atmosphäre beförderten Treibhausgase bewirken jedoch seit Beginn des Industriezeitalters eine Zunahme des Treibhauseffekts – man spricht daher auch vom zusätzlichen oder _____ Treibhauseffekt.



J4. Arbeitsblatt Moleküle und Licht

Moleküle und Licht (PhET-Applet)

https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light_de.html

(letzter Zugriff: 26.06.2020)

Mit diesem Applet wird simuliert, was passiert, wenn Photonen unterschiedlicher Energie auf bestimmte Moleküle (z.b. in der Erdatmosphäre) treffen. Rechts kannst du ein Molekül aussuchen und unten die gewünschte Strahlungsart auswählen. Der Schieberegler auf der Lampe lässt dich die Intensität variieren.

- 1) Finde unter Zuhilfenahme dieses Applets heraus, welches Molekül welche Strahlung passieren (P) lässt, sie streut (S), oder wo die Strahlung die Molekülverbindung aufbricht (B).

	IR-Strahlung	Sichtbares Licht	UV-Licht
N ₂			
O ₂			
CO ₂			
H ₂ O			
O ₃			

- 2) Nehmen wir an, die Erdatmosphäre bestünde nur aus N₂ und O₂. Welche der oben genannten Strahlungsarten würden bei so einer Atmosphäre ungehindert auf die Erdoberfläche treffen?

- 3) Nun befinden sich in der Erdatmosphäre aber zusätzlich auch geringe Anteile an CO₂ oder H₂O. Was ändert sich dadurch?

- 4) Und schließlich: welchen Einfluss könnte O₃ auf das in 3) beschriebene System haben?

J5. Arbeitsblatt Treibhauseffekt und Ozonloch

Treibhauseffekt und Ozonloch: Eine Gegenüberstellung

Bessere die folgenden falschen Aussagen aus!

<p>Das Ozonloch ist hauptverantwortlich für die Klimaerwärmung.</p> <p>Das Ozonloch und der Treibhauseffekt sind im Grunde unabhängige Phänomene. Zwar kann durch das Ozonloch mehr UV-Strahlung in das System Erde eintreten, doch sind die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Klimaerwärmung vernachlässigbar gering.</p>	<p>FCKWs sind schädlich für die Ozonschicht, aber haben keinen Einfluss auf den Treibhauseffekt.</p> <p>FCKWs sind schädlich für die Ozonschicht UND wirken als Treibhausgase.</p>
<p>Die Ozonschicht ist undurchlässig für die gesamte UV-Strahlung der Sonne.</p> <p>Die Ozonschicht schirmt die UV-C-Strahlung sowie einen Großteil der UV-B-Strahlung aus der Sonnenstrahlung heraus. Die UV-A-Strahlung hingegen gelangt ungehindert durch die Ozonschicht zur Erdoberfläche.</p>	<p>Die Ozonschicht und die Treibhausgase befinden sich in derselben Höhe der Atmosphäre.</p> <p>Die Ozonschicht liegt je nach Breitengrad in einer Höhe von 15-25 bzw. 20-30 km über dem Erdboden (Stratosphäre). Die Treibhausgase hingegen verteilen sich vorwiegend in den unteren 15 km der Atmosphäre (Troposphäre).</p>

UNTERRICHTSPLANUNG zum Thema KLIMAWANDEL (ohne erneuerbare Energien), 7. Klasse Oberstufe	
SCHLÜSSELBEGRIFF(E) der Unterrichtseinheit/sequenz: Klimageschichte, Treibhauseffekt & -gase, der anthropogene Klimawandel und seine Auswirkungen, Kyoto-Protokoll & Pariser Übereinkommen, ökologischer Fußabdruck	
Was sollen Schüler/innen am Ende der gesamten Unterrichtssequenz/der Unterrichtseinheit wissen/können? <ol style="list-style-type: none"> W1/W2/W4/S1: SuS sollen anhand der Erdgeschichte (u.U. auch bei anderen Planeten) Ereignisse nennen können, die einen natürlichen Klimawandel hervorrufen (können). W1/W2/W4/E1/E4/S1: SuS sollen die Gründe für den anthropogenen Klimawandel (v.a. Treibhauseffekt) auswerten, beurteilen, und nennen können. W1/W2/W3/W4/E1/E4/S1/S2/S4: SuS sollen die globalen und nationalen Auswirkungen des Klimawandels ableiten und beschreiben können. W1/W2/E4/S1/S2/S4: SuS sollen Maßnahmen zum Klimaschutz nennen können und diskutieren, welchen Anteil sie selbst leisten könnten (z.B. anhand des Mobilitätsverhalten, „Green IT“, „graue Energie“, Ernährung, etc.). W1/S1/S4: SuS sollen Meldungen bzgl. Klimawandel aus den (sozialen) Medien kritisch diskutieren und deuten können und dazu Stellung nehmen („Fake News Check“) 	
WARUM sollen Schüler/innen das lernen? (<u>unterstrichen</u> : exemplarische Bedeutung; <u>Lehrplan</u> : <i>Strahlungshaushalt der Erde</i>) Gegenwart: Bewusstseinsbildung, was kann jeder zum Klimaschutz beitragen; <u>aktuelle Auswirkungen des Klimawandels</u> ; erneuerbare Energien Zukunft: Wie wird sich der Klimawandel in Zukunft auswirken (in O. in Europa, weltweit)? Alltag/Gesellschaft: Elektroauto/Fahrrad, Wirkung von Treibhausgasen verstehen, <u>Kyoto-Protokoll</u> kennen lernen, ökologischer Fußabdruck (CO ₂), Klimagerechtigkeit, Klimawandelanpassung Wissenschaft: die Rolle der Wissenschaft in der Diskussion zum Klimawandel	
Elementare GRUNDIDEEN (key ideas) <ul style="list-style-type: none"> Das Klima der Erde hat sich bereits in der Vergangenheit oft geändert. Der anthropogene Klimawandel verläuft jedoch um ein Vielfaches schneller als der natürliche (Ausnahme: Naturkatastrophen wie Meteoriteneinschlag, Vulkanausbruch, etc.). Auch auf anderen Planeten gibt es einen Klimawandel. Der Klimawandel zeigt sich nicht nur durch globale Erwärmung, sondern auch durch häufiger auftretende und extreme Naturkatastrophen. Auf der Erde gibt es verschiedene Klimazonen, abhängig vom Breiten- und Längengrad, und von der Lage von Gebirgsketten und großen Wasserflächen. Wichtige Einflussfaktoren auf das Klima sind die Sonneneinstrahlung und die Zusammensetzung der Erdatmosphäre. Die Erdatmosphäre ist nur in begrenzten Wellenlängenbereichen durchlässig für elektromagnetische Strahlung (z.B. im optischen Bereich oder Teilen des IR-Bereichs). Diese Bereiche nennt man auch „atmosphärische Fenster“. Die Erdatmosphäre besteht vorwiegend aus Stickstoff (78,08 %), Sauerstoff (20,95 %) und Argon (0,93 %). Der (natürliche) Treibhauseffekt beschreibt die Absorption und darauffolgende neuerliche Emission (in alle Richtungen) von elektromagnetischer Strahlung (IR-Strahlung) durch Treibhausgase in der Atmosphäre. Dieser Vorgang führt dazu, dass ein Teil der IR-Strahlung im System Erde verbleibt und so zu einer Erwärmung des Systems führt. Die bekanntesten Treibhausgase sind Wasserdampf, CO₂, CH₄, N₂O und FCKW. Der anthropogene (bzw. zusätzliche) Klimawandel beruht vorwiegend auf dem steigenden Prozentsatz an (zusätzlichen) Treibhausgasen in der Erdatmosphäre (anthropogener Treibhauseffekt) durch Eingriffe in die Natur durch den Menschen (Abholzung, Flächenversiegelung, Landwirtschaft, Verkehr, Industrie, etc.). Durch positive Rückkopplungen (Feedbackschleife), also sich gegenseitig verstärkenden Effekte, kann es zu einem „galoppierenden Treibhauseffekt“ kommen, der sich bis zur Verdampfung von allem flüssigen Wasser selbst verstärken könnte (Bsp. Venus). Das Klima kann langfristig, das Wetter jedoch nur sehr kurzfristig prognostiziert werden. Änderungen des Klimas können weitreichende Folgen für das Ökosystem haben. 	Sachstruktur & Unterrichtsideen <ol style="list-style-type: none"> Klimageschichte (Erde, Venus, Mars) W1/W2/W4: Klimageschichte der Erde (auch Mars und Venus) S1: Welche natürlichen Ereignisse haben Änderungen des Klimas hervorgerufen? W1/W2/W4/E4/S1: was verursacht anthropogenen Klimawandel? E1/E2/E4: Treibhauseffekt – Bau eines Modells anthropogener Klimawandel W1/W2/W4/E4/S1: was verursacht anthropogenen Klimawandel? E1/E2/E4: Treibhauseffekt – Bau eines Modells Auswirkungen des Klimawandels W2/E4: Analyse von Messwerten (T, Niederschlag, Vegetation, etc.) W1/W2/W3/W4/S1/S2/S4: Naturkatastrophen als Folge des Klimawandels deuten können E1: Experiment „Anstieg des Meeresspiegels“ Maßnahmen gegen den Klimawandel S2: Kyoto-Protokoll & Übereinkommen von Paris S2: Welche anthropogenen Ursachen des Klimawandels sind veränderbar? W1/E4: (eigener) ökologischer Fußabdruck (CO₂) W2/W3/W4/S4: eigenen Beitrag leisten (Mobilitätsverhalten, Green IT, etc.) Fake News Check W1/S1/S4: aktuelle Berichte/Meldungen sammeln und Inhalt beurteilen S1/S4: Argumente der Klimawandel-Skeptiker kennen und falsifizieren können
Mit welchen Lernendenvorstellungen ist bei diesem Thema zu rechnen? <ul style="list-style-type: none"> Der Klimawandel ist nur eine Erfindung der Medien bzw. der Politik. Der Klimawandel ist nicht mehr aufzuhalten. Die „Luft“ besteht vorwiegend aus Sauerstoff. Luftverschmutzung führt zum Klimawandel 	<ul style="list-style-type: none"> Der momentane Klimawandel ist ein wiederkehrendes Phänomen bzw. Teil eines natürlichen Zyklus. Die Auswirkungen des Klimawandels sind überwiegend positiv. Verwechslung von Wetter und Klima
Welche Interessen könnten Schüler_innen zu diesem Thema haben? Was kann ich selber beitragen?, Wie kann ich Nachrichten bzgl. Klimawandel richtig deuten?, Bedeutung des Kyoto-Protokolls und des Pariser Übereinkommens	

L. Alternative thematische Blöcke

▷ Erneuerbare Energien

Dieses Thema wurde bewusst in dem hier vorgestellten Unterrichtskonzept ausgelassen, da dies so mit der Mentorin ausgemacht war (Thema wurde dann im Anschluss an meine gehaltenen Stunden mit den Schülerinnen und Schülern erarbeitet). Weiters wird dieses Thema nicht unbedingt dem Kompetenzbereich *Strahlungshaushalt der Erde* sondern eher *Energie* (genauer: *Grundlagen der konventionellen und alternativen Energiebereitstellung*) zugeordnet. Dennoch bietet es sich an, dieses Thema im Anschluss an die Klimawandelthematik zu besprechen. Ähnlich wie bei der Vorgehensweise im Buch *Big Bang 7* von Martin Apolin (ISBN 978-3-209-08589-4), sollten die Schülerinnen und Schüler zunächst etwas über den Weltenergiebedarf erfahren und wie der heutzutage gedeckt wird. Als nächstes sollen die klassischen erneuerbaren Energiequellen Sonnenstrahlung, Wind, Wasser und Biomasse diskutiert werden, wobei auch auf die Nachteile und möglichen Umweltprobleme hingewiesen werden soll. Man könnte hier auch mit dem Mythos aufräumen, dass Atomstrom CO₂-Emissions-neutral wäre.

Doch nicht immer bestehen die optimalen Bedingungen zur Gewinnung von erneuerbaren Energien dort, wo man sie gerade braucht. Oft kommt bei diesem Thema die Frage auf, wieso wir nicht einfach die Sahara oder andere brachliegende bzw. (größtenteils) unbewohnte Flächen für große Anlagen zur Gewinnung von erneuerbarer Energie nutzen²⁴. Das Projekt *Desertec*, eine deutsche Energie-Allianz, hat genau da angesetzt, wobei man hier vom grünen Strom für Europa aus der Sahara träumte²⁵ (siehe Abb. L.1). Und wenn man schon dabei ist, könnte man die Sahara durch *Agrophotovoltaik* auch gleich zu einem neuen Hot Spot der Wasser- und Lebensmittelproduktion in Afrika machen. Im Zuge des *Sahara Forest Project*²⁶ wurde bereits 2012 in Katar ein Prototyp (ein Hektar groß, mit einer Anbaufläche von 600 m²) für eine solche Anlage eröffnet, die sogar höhere Erträge lieferte als prognostiziert [Clery, 2013]. Eine weitere Demonstrationsanlage mit 20 Hektar entsteht gerade in Jordanien [Clery, 2011]. Auch wenn eine solche lokale Nutzung durchaus Sinn macht, mangelt es bei der Idee der ausgelagerten Energiegewinnung für z.B. den europäischen Markt noch an technisch umsetzbaren Plänen. Neben der Optimierung der Photovoltaikanlagen für extrem heiße und trockene Gegenden, die auch den berüchtigten Sandstürmen widerstehen müssen, muss auch die Speicherung und Übertragung der gewonnenen Energie bedacht werden. Neben diesen technischen

²⁴Die größte Photovolatanlage der Welt entsteht gerade in Indien (Bhadla Solar Park) und soll bei ihrer Fertigstellung eine Kapazität von 2.25 GW vorweisen (<https://www.nsenenergybusiness.com/projects/bhadla-solar-park-rajasthan/>, letzter Zugriff: 31.05.2020).

²⁵Aufgrund interner Differenzen in der Desertec-Industrie-Initiative (Dii) wurde dieses Projekt 2014 fallen gelassen, wobei Dii seither nur mehr als Beraterfirma tätig war/ist.

²⁶<https://www.saharaforestproject.com/>, letzter Zugriff: 31.05.2020

Problemen würde es auch politische, soziologische, ökonomische und rechtliche zu lösen geben: Wer bezahlt diese Anlage(n) und auf wessen Hoheitsgebiet werden sie gebaut bzw. verlaufen die Leitungen. Dabei muss auch an die den extremen Bedingungen trotzensen Bewohnern der Regionen (z.B. den Tuareg) gedacht werden, die massive Einschränkungen durch den Bau solcher großen Anlagen ertragen müssten. Auch wenn Modelle gezeigt haben, dass große Wind- und Solaranlagen das Energieproblem der Welt scheinbar auf einen Schlag lösen könnten und dabei auch noch als Bonus eine höhere Niederschlagsmenge in der lokalen Umgebung (in dieser Studie, in der Sahel-Region) heraus schauen könnte [Li et al., 2018], bleibt die Umsetzbarkeit eines solchen Vorhabens fraglich. Die Schülerinnen und Schüler könnten zu diesem Thema eigenständige Recherchen durchführen, die dann im Zuge eines *World-Café* diskutiert werden können.



Fig. L.1. Schematische Darstellung des Projekt *Desertec*. Im Zuge dieses Projekts sollten Photovoltaikanlagen in der Wüste, Windräder an der Küste und ein neues Netz für den Stromtransport nach Europa gebaut werden. Die zwei großen roten Quadrate geben dabei die errechnete Größe von möglichen Photovoltaikanlagen an, die die ganze EU bzw. sogar die ganze Welt mit Strom versorgen könnten. ©Desertec (https://www.dlr.de/next/desktopdefault.aspx/tabid-6782/11133_read-25363/, letzter Zugriff: 31.05.2020).

In diesem Zusammenhang könnte man noch genauer auf das Thema *graue Energie* eingehen, das von den Schülerinnen und Schülern bereits in der vierten Einheit im Zuge der Analyse des Profil-Artikels bearbeitet werden sollte. Als graue Energie wird im Allgemeinen jener Energieaufwand bezeichnet, der für Herstellung, Transport, Lagerung und Entsorgung eines Produkts nötig ist. Dieser Energieverbrauch ist für den Käufer nicht direkt ersichtlich. Analog dazu kann die *graue Emission* (z.B. von CO₂) gesehen werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Schülerinnen und Schüler bei diesem Themenblock nicht nur lernen sollen, wie erneuerbare Energie entsteht und welche Möglichkeiten zur Gewinnung verfügbar sind, sondern dass sie auch bewusst ihr Konsumverhalten überdenken. Man könnte z.B. eine (anonyme) Statistik in der Klasse durchführen, aus welchen Quellen der Strom kommt, den sie zuhause (oder auch in der Schule) verwenden. Dabei könnte den Schülerinnen und Schülern auch Vergleichsportale wie etwa <https://durchblicker.at/> (letzter Zugriff: 31.05.2020) gezeigt werden, wo man gezielt nach Anbietern von erneuerbarer Energie bzw. mit speziellen Ökostrom-Auszeichnung suchen kann. Genau solche praktischen Anwendungen werden Vielfach von Schülerinnen und Schülern gewünscht- denn eigentlich sollte ja, konträr zu Senecas Originalzitat, gelten: *Non scholae, sed vitae discimus*.

▷ E-Mobilität

Kein großer Autohersteller kann es sich heutzutage noch leisten ohne Elektroauto oder zumindest Hybridfahrzeug in seinem Katalog Werbung zu machen. Es bleibt zu bezweifeln, ob es den Konzernen dabei wirklich um den aktiven Klimaschutz geht oder ob es sich hier um reine Marketingstrategien handeln. Genau hier sollte mit den Schülerinnen und Schülern in die Thematik eingestiegen werden.

Den Schülerinnen und Schülern soll das Elektroauto als interessante Alternative, aber nicht als heiliger Gral der Mobilitätsdebatte näher gebracht werden. Es soll dabei auf die Für und Wider der Elektromobilität eingegangen werden. Die klassischen und viel zitierten Vorteile von Elektroautos sind der höhere Wirkungsgrad, die geringere Lärmbelastung²⁷ und natürlich, dass beim Gebrauch selbst (lokal) keine Schadstoffe (CO₂, Feinstaub, Stickoxide) ausgestoßen werden. Dem gegenüber stehen die (momentan noch) höheren Anschaffungskosten, die kürzere Reichweite, der höhere Energieaufwand und Herstellungsaufwand (inkl. höherer Feinstaubausstoß) bei der Fertigung und die assoziierte Umweltproblematik im Bezug auf die Akkus (kumulierter Rohstoffaufwand, ökologisch und sozial fragwürdige Gewinnung, sowie auch Entsorgung). Im Allgemeinen kann man sagen, dass eine weiter fortschreitende Energiewende (Ausbau erneuerbarer Energien) und intensiveres Recycling der Umweltverträglichkeit der Elektroautos in die Karten spielen wird, jedoch einige der Schattenseiten der Elektromobilität davon unbeeindruckt bleiben. Falls genügend Zeit bleibt bzw. die Schülerinnen und Schüler ein großes Interesse an der Thematik zeigen, kann auch auf alternative Technologien wie *e-fuels* oder *Power-to-Liquid/Power-to-Gas* eingegangen werden.

²⁷Das gilt allerdings nur bei geringer Geschwindigkeit, da bei über 25 km h⁻¹ die Rollgeräusche den größten Lärmanteil ausmachen- und die sind bei Elektroauto und konventionellen Fahrzeugen gleich. Manche sehen auch einen Nachteil in den leisen Fahrzeugen. Daher wurde von der EU die AVAS-Pflicht (Acoustic Vehicle Alerting System) im Jahr 2019 eingeführt, gemäß der Elektroautos künstliche Tonsignale abgeben müssen.

Im Internet gibt es eine große Fülle an Unterrichtsmaterial zu diesem Thema. Ein paar Beispiele sind in Tabelle L.1 zu finden. Weiters kann ich die Broschüre “Wie umweltfreundlich sind Elektroautos?”²⁸ vom deutschen BM für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, den LEIFIphysik-Beitrag “Elektroauto”²⁹, den UPI-Bericht Nr. 79 (“Ökologische Folgen von Elektroautos”)³⁰ und den Bericht “Klimabilanz von Elektroautos”³¹ des Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH im Auftrag der *Agora Verkehrswende* empfehlen. Auch widmete sich eine gesamte Ausgabe von “Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule” (Heft 8/64, 2015) dem Thema Elektromobilität.

Tab. L.1. Unterrichtsmaterial zum Thema E-Mobilität. Die Links zu den in dieser Tabelle aufgelisteten Materialien wurden am 17.02.2020 zum letzten Mal aufgerufen.

Titel	Veröffentlicht von	Umfang
Elektromobilität: Zukunft schreibt man mit E	lehrer-online.de ^a	drei bis vier Doppelstunden
Intelligent unterwegs	BMVIT ^b	18 Unterrichtseinheiten
Neue Technologien: Wohin entwickeln sich Autos?	Deutsches BM für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit ^c	ein bis zwei Stunden
Elektromobilität - Die Lösung?	Winkler Marcel und Wald, Celina (TU Dresden) ^d	zwei Stunden
Unterrichtsmaterialien Elektroauto	Jana Tampe (TU Darmstadt) ^e	eine Unterrichtseinheit
Elektroauto - Fahrzeug der Zukunft?	Verena Spatz, Jana Tampe und Rudolf Feile ^f	eine Unterrichtseinheit

^a<https://www.lehrer-online.de/unterricht/sekundarstufen/naturwissenschaften/physik/unterrichtseinheit/ue/elektromobilitaet-zukunft-schreibt-man-mit-e/>

^bhttps://www.bmvit.gv.at/themen/alternative_verkehrskonzepte/elektromobilitaet/ausbildung/unterrichtsmaterial.html

^c<https://www.umwelt-im-unterricht.de/unterrichtsvorschlaege/neue-technologien-wohin-entwickeln-sich-autos/>

^d<https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/vpsy/ressourcen/dateien/studium/projekte/jugendliche/elektromobilitaet/dieLoesung?lang=de>

^ehttps://www.physik.tu-darmstadt.de/physikdidaktik/didaktik_der_physik_menue/downloads_untermenue/unterrichtsmaterialien_elektroauto/index.de.jsp

^fUnterricht Physik 163: Wechselstrom (2018)

▷ COVID-19 und der Klimawandel

Kein Thema hat uns im Jahr 2020 bisher mehr beschäftigt als die COVID-19-Pandemie. Die Atemwegserkrankung COVID-19 wird durch den neuartigen Virus SARS-CoV-2 verursacht [Gorbalenya et al., 2020], wobei diese Erkrankung erst-

²⁸https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/elektroautos_bf.pdf, letzter Zugriff: 17.02.2020

²⁹<https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektrische-arbeit-und-leistung/ausblick/elektroauto>, letzter Zugriff 17.02.2020

³⁰http://www.upi-institut.de/UPI79_Elektroautos.pdf, letzter Zugriff: 26.04.2020

³¹https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz_von_Elektroautos/Agora-Verkehrswende_22_Klimabilanz-von-Elektroautos_WEB.pdf, letzter Zugriff: 26.04.2020

mals im Dezember 2019 in Wuhan, China, gemeldet wurde [Zhou et al., 2020]. Seither hat sie sich rasend schnell über den gesamten Planeten ausgebreitet und am 30. Januar 2020 wurde der Ausbruch schließlich von der Weltgesundheitsorganisation (World Health Organization, WHO) zur *gesundheitlichen Notlage von internationaler Tragweite* erklärt [WHO, 2020]. So gut wie jeder Staat verordnete daraufhin spezielle Maßnahmen gegen die Ausbreitung des Virus. In Österreich erließ die Bundesregierung unter Kanzler Sebastian Kurz am 15. März eine landesweite Ausgangsbeschränkung und ein Versammlungsverbot für Gruppen von mehr als fünf Personen (COVID-19 Gesetz, Bundesgesetzblatt I Nr. 12/2020). Das Haus durfte nur mehr für nötige Einkäufe, unbedingt notwendige berufliche Tätigkeiten, Betreuung/Hilfe anderer Personen und sportliche Aktivität im Freien verlassen werden. Viele Personen mussten so auf Arbeit von zu Hause (home office) umsteigen, wurden in Kurzarbeit versetzt oder gar gekündigt [Schönherr, 2020]. Neben der Mehrzahl an Geschäften und dem Gastronomie- und Tourismusbereich wurden auch alle Schulen geschlossen. Erst mit 4. Mai 2020 wurde der Präsenzunterricht zunächst für Maturanten und andere Schüler mit bevorstehendem Abschluss wieder aufgenommen.

Die gesetzlichen Maßnahmen und die damit einhergehenden einschneidenden Veränderungen im Leben der SchülerInnen muss unbedingt in den Schulen thematisiert werden. Eine Sora-Umfrage im Auftrag des Momentum Instituts unter 524 Befragten zeigt klar, dass die COVID-19-Krise österreichische Familien teilweise schwer belastet [Schönherr, 2020]. Neben Problemen durch die Erwerbssituationen und der stark gestiegenen Kinderbetreuungszeit auf Seiten der Eltern, mussten die Kinder sich auf *Distance Learning* umstellen. Eine erste Studie der Universität Wien mit 8349 SchülerInnen (10 bis 19 Jahre) hat gezeigt, dass etwa 7 % größere Probleme beim *Distance Learning* haben, was mit niedrigem Wohlbefinden und geringer Zuversicht einherging [Schober et al., 2020]. Besonders schwierig gestaltet sich dabei die Organisation des selbstständigen Lernens und der geringe Kontakt mit den MitschülerInnen.

Doch auch die Auswirkungen der weltweiten Maßnahmen gegen die Ausbreitung des Virus auf den Klimawandel wurden bereits untersucht und können als Ergänzung zu dem in dieser Arbeit vorgestelltem Unterrichtskonzept dienen. Bilder von Delfinen und Schwänen in den Kanälen von Venedig und betrunkenen Elefanten in Yunnan (China) wurden tausendfach in den Social Media geteilt. Auch wenn sich diese Bilder bald als gefälscht herausgestellt haben [Daly, N., 2020], bewirkten sie dennoch bei manchen ein Umdenken über den Einfluss des Menschen auf die Umwelt. Wie hat sich aber nun COVID-19 wirklich auf das Klima und den Klimawandel ausgewirkt? Wenn man der Veröffentlichung des *Global Carbon Projects* in Kooperation mit dem *Carbon Dioxide Information Analysis Center* (CDIAC) und der *Internationale Energieagentur* (International Energy Agency, IEA) Glauben schenkt, so könnte uns

2020 der stärkste Einbruch in der globalen CO₂-Emission bevorstehen, der jemals gemessen wurde (siehe Abb. L.2). In einer aktuellen Studie von Corinne Le Quéré werden diese Prognosen bestätigt: hier wird eine Reduktion der CO₂-Emissionen von 4-7% prognostiziert [Le Quéré et al., 2020]. Der Rückgang des Energiebedarfs könnte ca. 6% betragen- das wäre in etwa dem Energiebedarf von Indien gleichzusetzen [McGrath, M., 2020]. Auch für Österreich sagt das Umweltbundesamt ein Erreichen der Klimaziele für 2020 heraus, woran vor der Pandemie wohl keiner geglaubt hätte [Vasari, 2020].

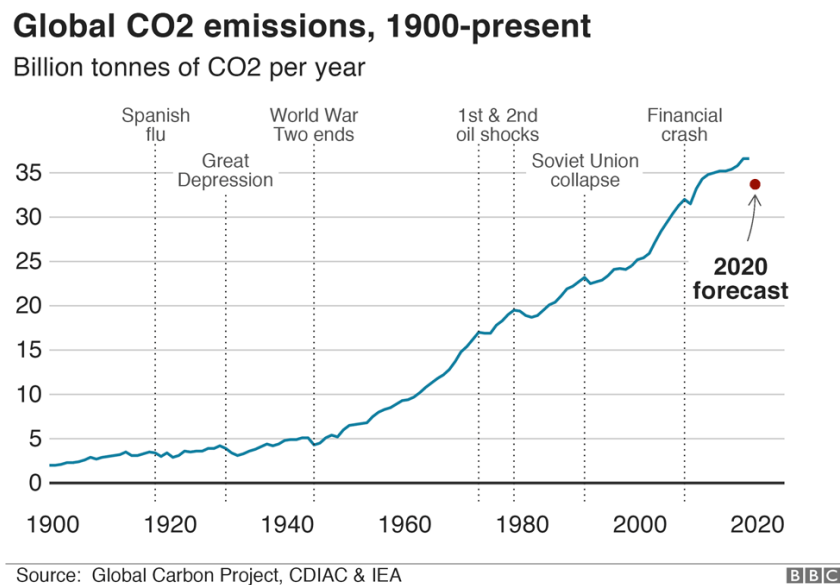


Fig. L.2. Globale CO₂-Emission der letzten 120 Jahre. ©Global Carbon Project, CDIAC & IEA

Dieses Thema eignet sich hervorragend für Gruppenarbeiten in der Schule. Jede Gruppe soll einen anderen Aspekt des Einflusses von COVID-19 auf den Klimawandel behandeln (CO₂-Menge in der Atmosphäre, Rückgang des Energiebedarfs, verminderter Bedarf an Öl, eingeschränkter Verkehr, verbesserte Luftqualität (Rückgang der Schadstoffbelastung), biologische Artenvielfalt, Einfluss auf Landwirtschaft, etc.). Mit einem gewissen zeitlichen Abstand kann dann später auch analysiert werden, was wir auf den Klimawandel bezogen aus dieser Zeit gelernt haben und ob sich dieser Trend durchgesetzt hat oder wir all die positiven Entwicklungen durch die Rückkehr in die “alte Normalität” wieder egalisiert haben. Auch kann auf die Frage eingegangen werden, ob nicht der Klimawandel solche Pandemien, die durch die Übertragung von Tieren auf den Menschen losgetreten werden, in Zukunft häufiger auftreten lassen könnte [Johnson et al., 2020].

Natürlich würde sich zu diesem Thema auch ein Exkurs in die politische Bildung anbieten. Die Maßnahmen gegen die Ausbreitung des Virus haben in einem noch nie in der zweiten Republik dagewesenem Maß die demokratischen Grundrechte der Bevölkerung massiv eingeschränkt. Diese Einschränkungen wurden aufgrund der akuten Gefahr mit einem relativ großem Verständnis von der Bevölkerung akzeptiert und

die begleitenden Anweisungen befolgt. Nun stellt sich die Frage, ob der Klimawandel nicht auch eine genauso große – wenn nicht sogar weitaus größere – Gefahr darstellt und ob hier nicht auch eine härtere Gangart von Seiten der Politik nötig wäre. Das würde allerdings weitere Einschränkungen für die durch das Virus im Moment arg gebeutelte Wirtschaft bedeuten, die eigentlich auf ein stetiges Wachstum ausgelegt ist. Und dabei müssen alle Nationen an einem Strang ziehen und nicht, wie bei der momentanen Pandemie, jeder Staat sein eigenes Süppchen kochen, denn der Klimawandel ist nur durch global koordiniertes Handeln erfolgreich zu bremsen. Wenn die Politik jedoch nicht eingreift, bleibt zu bezweifeln, dass die Wirtschaft bzw. auch die Bevölkerung freiwillig und in großem Umfang auf ein klimafreundlicheres Verhalten umschwenkt. Ob bei der jetzigen Handlungsweise der Regierungen weltweit die politisch eigentlich utopisch wirkenden Versprechen zum Pariser Klimaabkommen eingehalten werden können, bleibt mehr fraglich. Die Schülerinnen und Schüler können hier zunächst in Gruppen und dann in einer anschließenden großen Runde (z.B. im *Fishbowl*-Format) diese Problemstellung diskutieren. Als Leitfrage bei dieser Diskussion kann man den letzten Paragraphen von einem aktuellen Artikel von Bernd Vasari in der Wiener Zeitung nehmen: “Vogelgezwitscher, ein klarer Himmel, blaue Satellitenbilder: Das gefiel uns in den vergangenen Wochen, daran könnten wir uns gewöhnen. [...] Es gibt viele Antworten auf die Frage, was sich ändern muss, damit dieser Frühling nicht einmalig bleibt. Nur: Sind wir auch bereit, unsere Gewohnheiten dafür zu ändern?” [Vasari, 2020, S. 10].

▷ **Aufarbeitung der Geschichte zur Klimaforschung im Sinne von *Nature of Science* (NOS)**

Als *Nature of Science* wird das Wissen und Reflektieren über die Natur der Naturwissenschaften bezeichnet [Ertl, 2010, Heering und Kremer, 2018]. Hierbei kann auf die gesellschaftlichen und politischen Einflüsse auf die Forschungen der letzten 150 Jahre eingegangen werden, die im Zusammenhang mit dem jeweiligen Erkenntnisstand nicht immer konform gingen. Als unterstützende Lektüre kann hier das Buch *Climate Change from Pole to Pole: Biology Investigations* (NSTA Press, ISBN 1933531231) von Juanita M. Constible, Luke H. Sandro und Richard E. Lee zur Hand genommen werden.

▷ **Klimaspiele**

Eine nette Variante ist natürlich immer spielerisch an ein gewisses Thema heranzutreten. Dafür hat *Germanwatch* Klimaspiele³² entwickelt, die auch sehr gut während des Unterrichts gespielt werden können. Weiters gibt es die vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung entwickelten Brettspiele “Winds of Change” und “Keep Cool”. Letzteres steht mittlerweile auch schon als online-Version für das Smartphone

³²<https://germanwatch.org/sites/germanwatch.org/files/publication/17832.pdf>, letzter Zugriff: 18.02.2020

oder den Computer zur Verfügung. Ein weiteres Online-Spiel stellt *Ökotopia*³³ der Denkstatt GmbH dar. Dieses Spiel wurde im Rahmen des österreichischen Klima- und Energiefonds entwickelt und soll den SchülerInnen nachhaltige Volkswirtschaft, im speziellen den Emissionshandel, näher bringen. Eine weitere Idee um gezielt die Bewertungskompetenz der Schülerinnen und Schüler zu fördern, wäre ein Rollenspiel durchzuführen, etwa wie es in BMU [2020] vorgestellt wird. Hier können die Schülerinnen und Schüler unterschiedliche Rollen in der Klimadebatte einnehmen (LandwirtIn, UmweltschützerIn, Manager eines großen Lebensmitteldiscounters, etc.) und in diesen Rollen Verhandlungen zum Klimaschutz führen.

▷ **Video: Earth-Book**

Ein sehr gut gemachtes Video stellt “Earthbook: Die Erde geht online”³⁴ dar. Dieses Video wurde zum Wissenschaftsjahr 2012 unter der Initiative des deutschen BM für Bildung und Forschung erstellt und fasst in Form von Facebook-Einträgen die Erdgeschichte zusammen, wobei besonders auf den Einfluss des Menschen eingegangen wird. Dieses Video eignet sich gut am Ende des Blocks zum Klimawandel, da hier die Schülerinnen und Schüler bereits mit all den Informationen aus dem Video (CO₂-Emission, Kyoto-Protokoll, 2-Grad-Ziel, etc.) etwas anfangen können sollten.

▷ **Das Klimabuch: Alles, was man wissen muss, in 50 Grafiken**

Dieses Buch der Autorin Esther Gonstalla ist im August 2019 beim *oekom verlag* erschienen (ISBN: 978-3-96238-124-0) und beinhaltet sehr schön gestaltete Infografiken zum Thema Klimawandel. Einzelne Grafiken könnten hier den Schülerinnen und Schülern vorgestellt werden und auf Basis dieser sollen die Schülerinnen und Schüler dann ein gewisses Themenfeld eigenständig erarbeiten und schließlich anhand der Infografik den anderen Schülerinnen und Schülern vorstellen.

▷ **mehr Astronomie**

Wenn man zum Thema Klimasystem Erde noch ein wenig mehr Astronomie einbauen möchte, könnte man noch zusätzlich z.B. auf die Begriffe “habitable Zone”, “Milanković-Zyklen”, Neigung der Erdachse (Jahreszeiten) und große Asteroideneinschläge eingehen.

▷ **Golfstrom**

Die Auswirkung einer Abschwächung bzw. des Einbrechens des Golfstromes auf das Klimasystem der Erde ist ebenfalls ein sehr interessantes Thema. Ein Artikel von Reuschenbach [2018] befasst sich mit dem Thema und in einem Video des SWR³⁵ wird das Ganze sehr gut erklärt. Im Schulbuch *Physik 7* von Sexl und Kollegen (ISBN

³³<http://www.oekotopia.net/>, letzter Zugriff: 24.04.2020

³⁴<https://www.youtube.com/watch?v=YNSNulqBqhE>, letzter Zugriff: 18.02.2020

³⁵<https://www.planet-schule.de/sf/php/sendungen.php?sendung=9683>, letzter Zugriff: 18.02.2020

978-3-209-08643-3) werden zwei einfache Experimente vorgestellt, die sich mit dieser Thematik beschäftigen.

▷ Die Bio- und Plastikdebatte

Ein wichtiger Schritt zur Vermeidung von Einweg-Plastik war das Inkrafttreten der EU-Richtlinie *Single Use Plastics Directive* (SUP) im Juli 2019. Das Verbot des Inverkehrbringens von Einwegkunststofftragetaschen („Plastiksackerl“) seit 1.1.2020 in Österreich ist ein gutes Beispiel, wie diese Richtlinie umgesetzt wurde. Es kann mit den Schülerinnen und Schülern ermittelt werden, wie viel Plastikmüll durch diese Maßnahme eingespart werden soll und wie allgemein die Ökobilanzen von Einweg-Verpackungen aussieht. Dabei könnte man den Schülerinnen und Schülern als Aufgabe stellen, jene Produkte in einem Supermarkt zu finden, die ganz ohne Plastikverpackung auskommen. Es könnte hier auch auf Begriffe wie „Bioplastik/Biokunststoff“ oder „biologisch abbaubar“ eingegangen werden. Hier könnte man folgend darauf hinweisen, dass Produkte, die die drei Buchstaben „Bio“ enthalten, nicht unbedingt auch immer besser (für die Umwelt) sind als „normale“ Produkte. Man kann mit den Schülerinnen und Schülern Pro und Contra anführen, warum z.B. Gemüse oder Obst, das als „bio“ deklariert wird, aber dafür aus einem anderen Land importiert werden muss, vielleicht ökologisch gesehen doch einen Nachteil gegenüber regionalen Produkten hat, die vielleicht über kein „Bio“-Zertifikat besitzen.

▷ Littering

Das englische Wort *Littering* kann grob als das achtlose Wegwerfen von Müll in der Natur übersetzt werden. Müll wie etwa Zigarettenstummeln, Plastiksackerln oder Getränkedosen fallen vielleicht auf den Straßen der Großstädte (leider) nicht mehr so auf, jedoch umso mehr, sobald man sie mitten in der grünen Natur vorfindet. Es gibt bereits einige (inter-)nationale Initiativen um dem Problem Herr zu werden, wie etwa *Let's Clean Up Europe*³⁶ bzw. die *Europäische Woche der Abfallvermeidung*³⁷, die 2020 von 21. bis 29. November geplant ist. Speziell für die österreichischen Berge wurde vom Alpenverein das *Projekt Alpen Littering* im Zuge der *Aktion Saubere Berge*³⁸ ins Leben gerufen. Für die Arbeit mit Schülerinnen und Schülern eignet sich besonders die Anwendung der App *Dreckspotz*³⁹. Diese von GLOBAL 2000, HOFER und dem Alpenverein initiierte App ermöglicht ganz gemäß dem Motto *Citizen Science* jedem/jeder Benutzer/in gefundenen Müll zu dokumentieren. Dies gesammelten Daten werden dann genutzt um gezielte Maßnahmen zur Müllvermeidung zu setzen (z.B. Aufstellen zusätzlicher Mistkübel). Schülerinnen und Schüler könnten diese App für ein paar Wochen benutzen und dann ihre Erfahrungen mit der Klasse teilen. Statt

³⁶<https://www.letsleanupeurope.de/home/>, letzter Zugriff: 09.05.2020

³⁷<https://www.wochederabfallvermeidung.de/home/>, letzter Zugriff: 09.05.2020

³⁸<http://www.alpenverein.at/portal/natur-umwelt/saubere-berge/>, letzter Zugriff: 09.05.2020

³⁹<https://www.global2000.at/dreckspotz>, letzter Zugriff: 09.05.2020

nach virtuellen *Pokémons*⁴⁰ zu jagen, würden sich die Schülerinnen und Schüler so auf die Suche nach realem Abfall machen. Auf der einen Seite lernen sie so das Prinzip von *Citizen Science* kennen und auf der anderen Seite werden sie für das Thema Littering sensibilisiert. Es kann gut sein, dass den Schülerinnen und Schülern erst durch so eine App auffällt, wie viel Müll eigentlich herumliegt und im Idealfall gehen sie in Folge dann selber achtsamer bei der Müllentsorgung vor.

▷ **Fächerübergreifende Projekte**

Das Thema Klimawandel (und Umweltschutz) eignet sich hervorragend für fächerübergreifenden Unterricht bzw. Projekte. Die Fächer Biologie (Auswirkung auf Flora & Fauna), Chemie (Stoffkreisläufe, Löslichkeit von Gasen (z.B. CO₂ in den Meeren)), Geographie (Klimazonen, atmosphärische Zirkulation)), aber auch politische Bildung (Aufgabe der Politik, Umsetzung, etc.) würden sich hier besonders anbieten. In der Literatur sind schon einige Vorschläge für solch eine fächerübergreifende Herangehensweise an das Thema Klimawandel zu finden [Höttecke et al., 2009, Eilks et al., 2011, Brockmüller, 2009].

▷ **Teile des IPCC-Berichts analysieren**

Für besonders interessierte Klassen bzw. für Wahlpflichtfächer kann man auch einen Blick in den IPCC-Bericht [IPCC, 2014] werfen und dort direkt verschiedene Datensätze und Informationen analysieren (z.B. Maßnahmen, Entwicklung der Treibhausgasemissionen, etc.). Wie so eine Unterrichtseinheit aussehen könnte, wird in Bartsch et al. [2009] beschrieben.

⁴⁰Die App *Pokémon Go* vom Softwareunternehmen Niantic erlebte 2016/17 einen regelrechten Hype. Bei diesem auf dem Prinzip der erweiterten Realität (*augmented reality*) basierenden Spiel gilt es kleine, virtuelle Wesen (*Pokémons*) zu sammeln und diese dann in Arenen gegen *Pokémons* anderer Spieler/innen kämpfen zu lassen (<https://www.pokemongo.com/de-de/>, letzter Zugriff: 09.05.2020)