



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Anthropogener Einfluss auf die Klimaentwicklung-
Relevanz im Schulunterricht
aus fachdidaktischer Sicht“

verfasst von / submitted by

Julia Dolezal

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

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2016 / Vienna, 2016

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

A 190 445 338

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

Lehramtsstudium UF Biologie und Umweltkunde
UF Latein

Betreut von / Supervisor:

ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Doris Nagel

Kurzfassung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll aufgezeigt werden, welche Themengebiete im Unterricht gelehrt werden sollten, um den SchülerInnen die vielen Einflussfaktoren auf die Klimaentwicklung näherzubringen.

Um wichtige Themen für den Schulunterricht auszuwählen, war eine Befragung von SchülerInnen nötig, die aufdecken sollte, wie die junge Generation mit dem Thema Klimawandel bereits vertraut ist. Die Ergebnisse dieser Schülerbefragung sind ebenfalls Gegenstand dieser Arbeit.

Weiters sollte eine Schulbuchanalyse demonstrieren, wie der Klimawandel in Schulbüchern repräsentiert wird. Immerhin begleiten diese Bücher die SchülerInnen in ihrer Schullaufbahn und beeinflussen sie somit in ihrer Meinungsbildung.

Der erste Teil der Arbeit befasst sich damit, diverse Klimafaktoren im Laufe der Erdgeschichte zu erläutern, um ihnen danach anthropogene Klimafaktoren gegenüberzustellen. Dieser Teil soll LehrerInnen verdeutlichen, welche Themengebiete im Zuge des Klimawandels im Unterricht besprochen werden sollten, um die SchülerInnen mit einer guten Grundlage in der Ausbildung bezüglich der Klimaentwicklung.

Um auch aufzuzeigen, wie gut sich dieses Thema für die Matura eignet, wurde am Ende der Arbeit eine Maturafrage für die mündliche Reifeprüfung erstellt.

Keywords: natürliche Klimafaktoren, Klimageschichte, menschliche Klimafaktoren, Klimaveränderung, Treibhausgase, SchülerInnenbefragung, Schulbuchanalyse, Maturafrage

Abstract

The aim of this diploma thesis is to demonstrate which topics should be taught at school get the pupils acquainted with the main factors for the climate change.

In order to find out important topics for schools I conducted a student survey, which should reveal their knowledge concerning the development of the climate so far. The results of this survey are also part of my thesis.

Additionally, I did an analysis of school books, of how climate change is treated in school books because the opinion of pupils are influenced a lot by these books.

The first part of my thesis summarized the different climate factors in the history of the earth to compare that with human-caused factors. This section should illuminate which topics should be discussed at school for a good basic education concerning climate change.

To show the value of this topic for an A-Level Exam, I worked out a question for the oral exam.

Keywords: natural climatic factors, anthropogenic climatic factors, climate change, greenhouse gases, alumni survey, school book analyses, A-Level Exam question

Inhaltsverzeichnis

I. Theoretischer Teil	1
1. Begriffsdefinitionen	1
2. Klimasystem	3
2.1. Atmosphäre	3
2.1.1. Der natürliche Treibhauseffekt	4
2.1.2. Aerosole	5
2.2. Hydrosphäre: Ozeane	6
2.3. Kryosphäre	7
2.3.1. Die thermohaline Zirkulation	7
2.4. Lithosphäre und Biosphäre	7
2.4.1. Albedo	8
2.4.2. Vegetation und ihre Evapotranspiration	9
2.4.3. Biogeochemische Stoffkreisläufe	10
2.4.3.1. Der Kohlenstoffkreislauf	10
2.4.3.2. Der Stickstoffkreislauf	11
3. Klimaveränderungen durch natürliche Faktoren in der Erdgeschichte	12
3.1. Bildung der Ozonschicht	12
3.2. Klimafaktoren im Paläozoikum	13
3.2.1. Wirkung von Vulkanausbrüchen auf das Klima	14
3.3. Klimabedingtes Massenaussterben im Mesozoikum	15
3.3.1. Auswirkungen der Plattentektonik auf das Klima	16
3.4. Entstehung rezent wirksamer Klimafaktoren vom Paläozän bis ins Pleistozän	18
3.4.1. Plattentektonik und Einsetzen der thermohalinen Zirkulation im Paläogen	18
3.4.2. Vulkanismus fördert Abkühlungstendenz im Miozän	20
3.4.3. Golfstromentstehung im Pliozän	20
3.4.4. Klima-Periodizitäten ab dem Pleistozän	22
3.4.4.1. Die Milanković-Zyklen	25
3.4.4.2. Auftreten der ersten Menschen auf der Nordhemisphäre im Pleistozän	27
4. Klimaveränderungen im Holozän	29
4.1. Klimaoptima und Klimapessima	29
4.2. Die ersten klimatischen Eingriffe des Menschen	30
4.2.1. Ackerbau und Viehzucht	31
4.3. Römisches Optimum	33
4.4. Die Kleine Eiszeit	36
4.4.1. Sonnenflecken	38
5. Menschliche Klimaeinflüsse	39
5.1. Entwicklungen ab der industriellen Revolution	39
5.2. Menschgemachte Treibhausgase	40
5.2.1. Kohlendioxid	41
5.2.2. Methan	43
5.2.2.1. Methanerzeugung durch Rinder	45
5.2.3. Distickstoffoxid	46
5.2.4. Fluorchlorkohlenwasserstoffe	46
5.3. Weitere menschliche Einflussfaktoren	47

5.3.1.	Aerosolfreisetzung.....	48
5.3.2.	Veränderung der Landoberfläche.....	49
5.4.	Rezente Folgen anthropogener Klimaeinflüsse auf das Klimasystem	51
6.	Die heutige Klimaerwärmung im Vergleich zu historischen Klimawandel	54
II.	Fragebogenauswertung	57
7.	Methode der SchülerInnenbefragung.....	57
7.1.	Ziele des Fragebogens	57
7.2.	Ort und Zeitraum der Datenerhebung.....	58
7.3.	Ablauf der Befragung	58
7.4.	Beschreibung des Fragebogens	58
7.5.	Kritische Hinterfragung der Ergebnisse	60
8.	Ergebnisse der Befragung	60
8.1.	Soziodemographische Daten	60
8.2.	Befragungsergebnisse des „Fakten-Teils“	61
8.2.1.	Wissen um Klimafaktoren, Klimaelemente und historische Klimaentwicklung	62
8.2.2.	Einschätzung der anthropogenen Eingriffe in die Klimaentwicklung	64
8.2.3.	Einschätzung über den Anteil erneuerbarer Energien in Deutschland	65
8.2.4.	AbleSEN von Daten aus Abbildungen	66
8.2.5.	Lesen von Landkarten	70
8.2.6.	Interpretieren astronomischer Abbildungen	73
8.2.7.	Zusammenhänge erkennen	76
8.3.	Befragungsergebnisse der „Allgemeinen Fragen“	77
8.3.1.	Einschätzung des Informationsstands über Klimawandel	77
8.3.2.	Interesse am Klimawandel	78
8.3.3.	Informationsquellen über Klimawandel	79
8.3.4.	Schwierigkeitsgrad des Themas Klimawandel.....	80
9.	Interpretation der Ergebnisse	82
9.1.	Interpretation der Fakten-Fragen	82
9.2.	Interpretation der Allgemeinen Fragen.....	84
III.	Schulbuchanalyse	85
10.	Ziele der Schulbuchanalyse	85
11.	Lehrplananalyse	85
12.	Schulbuchanalyse.....	90
12.1.	Vorgehensweise bei der Analyse.....	90
12.2.	Ergebnisse der Schulbuchanalyse.....	91
IV.	Maturafrage der mündlichen Matura	105
13.	Elemente mündlicher Maturaaufgaben	105
14.	Maturafrage zum Thema Klimawandel	106
	Literaturverzeichnis	110
	Conclusion	114
	Abbildungsverzeichnis.....	115
	Tabellenverzeichnis	116
	Anhang: Fragebogen	117

Abkürzungsverzeichnis

C...Kohlenstoff

CH₄...Methan

CO₂...Kohlendioxid

FCKW...Fluorchlorkohlenwasserstoffe

H₂...Wasserstoff

IPCC...Intergovernmental Panel on Climate Change

N₍₂₎...Stickstoff

N₂O...Lachgas

NO...Stickstoffmonoxid

NO_x...Stickoxide

O₂...Sauerstoff

O₃...Ozon

OS...OberstufenschülerInnen

ppm...parts per million

ppt...parts per trillion

SO₂...Schwefeldioxid

SuS...SchülerInnen

US...UnterstufenschülerInnen

I. Theoretischer Teil

1. Begriffsdefinitionen

Wetter

Unter „Wetter“ versteht man den Momentanzustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit. Temperatur, Sonnenstrahlung, Luftdruck, Wind, Bewölkung, Luftfeuchtigkeit sowie Menge und Art der Niederschläge entsprechen den Zustandsgrößen (Ludwig, 2006).

Klima

Das Klima beschreibt den charakteristischen Ablauf des Wetters über eine bestimmte Zeitperiode und für ein bestimmtes Gebiet. Seit 1935 wurden 30-jährige Beobachtungszeiträume festgelegt (z.B. 1901 - 1930, 1991 - 2020), um das Klima dadurch statistisch besser festlegen zu können (Kappas, 2009).

Klimafaktoren

Klimafaktoren beeinflussen ein Gebiet bezüglich seiner Entstehung, Andauer und Variabilität. Es wird zwischen primären und sekundären Klimafaktoren unterschieden.

Zu den primären Klimafaktoren zählen u. a. Sonnenstrahlen, Meer- und Landverteilung, Reliefsituation, Zusammensetzung der Atmosphäre und menschliche Änderungen bezüglich Emissionen und Veränderung der Landoberflächen.

Unter sekundären Klimafaktoren sind atmosphärische Zirkulation, Meeresströmungen, Wasser- und Gesteinskreisläufe und auch regionale Zirkulationssysteme (z.B. El-Niño) zu verstehen. Sie werden direkt oder indirekt von den primären Klimafaktoren beeinflusst (Kappas, 2009).

Klimaelemente

Klimaelemente entsprechen meteorologischen oder physikalischen Größen, die zu einem bestimmten Klima in einer Region führen. Hierzu zählen u. a. Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftdruck, Wind, Niederschläge, Sonnenscheindauer, Bodentemperatur, Albedo (Kappas, 2009).

Positive und negative Rückkopplungen

Diverse Wechselwirkungen können entweder durch Störungen verstärkt werden (positive Rückkopplung), negative Rückkopplungen können wiederum zu einem Ausgleich dieser Störungen führen.

Für „positive Rückkopplung“ sei etwa dieses Beispiel genannt: Temperaturanstieg (= Wechselwirkung) führt zu steigender Verdunstung, die wiederum das Treibhausgas Wasserstoff in die Atmosphäre bringt, was den Treibhauseffekt verstärkt und zu einer weiteren Erwärmung führt.

Ein Beispiel für die „negative Rückkopplung“: Die ozeanische Oberflächentemperatur steigt an (= Wechselwirkung), wodurch der Wärmestrom zwischen dem Ozean und der Atmosphäre zunimmt. Als Folge tritt vermehrte Wolkenbildung über dem Ozean auf, die wiederum Sonnenstrahlung reflektiert und somit zu weiterer Abkühlung auf der Erde führt (Kappas, 2009).

Klimawandel

Der Begriff „Klimawandel“ beschreibt längerfristige Veränderungen des Klimas über mehrere Jahre hinweg, die jedoch von klimatischen Fluktuationen, die sich höchstens über mehrere Monate erstrecken, abgegrenzt werden müssen (Jacobeit, 2016).

2. Klimasystem

Das Klimasystem setzt sich aus Klimafaktoren und Klimatelementen zusammen und wird von deren Wechselwirkungen bzw. positiven und negativen Rückkopplungen gesteuert. Im Folgenden soll überblicksmäßig auf Funktionen, Prozesse und Wechselwirkungen anhand der Geosysteme Atmosphäre, Kryosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre - insbesondere Ozeane - und Lithosphäre eingegangen werden. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit sind dies Grundlagen, um Klimaveränderungen bzw. Klimawandel nachvollziehen zu können.

2.1. Atmosphäre

Die Atmosphäre wird in vier Schichten unterteilt (Abb. 1), wobei sich in der untersten Schicht, der Troposphäre (0 - 12 km bzw. teilweise bis 18 km), das Wettergeschehen abspielt. Es schließt die Stratosphäre (bis 50 km) an, in der Substanzen wie

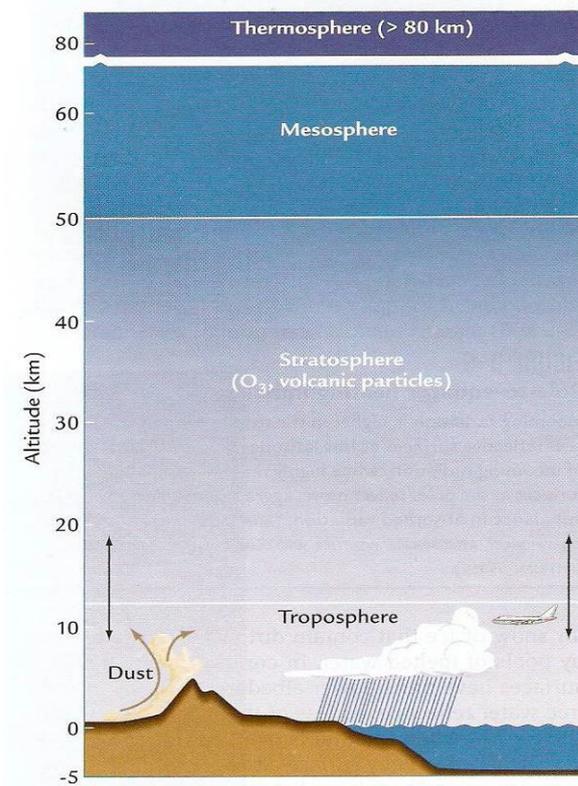


Abbildung 1: Schichten der Atmosphäre und deren Höhenlage (Ruddiman, 2014, S. 23)

beispielsweise Methan oder Kohlenmonoxid reaktionsfreudig agieren und so Ozon aufbauen können. Änderungen in diesen beiden genannten Schichten haben großen Einfluss auf die Klimaentwicklung.

Bei den letzten beiden Schichten handelt es sich um die Mesosphäre (50 - 80 km) und die Thermosphäre (> 80 km) (Ruddiman, 2014).

Im Folgenden werden die wichtigsten Elemente und Prozesse der Atmosphäre kurz erläutert, die später für die menschlichen Eingriffe in den Klimawandel von Relevanz sein werden.

2.1.1. Der natürliche Treibhauseffekt

Grundlegend wird die Erdoberflächentemperatur vom solaren Strahlungsfluss (Solarkonstante) beeinflusst, der während eines Jahres aufgrund der Ekliptik der Erdbahn um etwa 3 % variiert.

Betrachtet man hierbei nur die Nordhemisphäre, ergibt sich ein um etwa 100 W/m^2 geringerer Strahlungsfluss im Sommer aufgrund des Aphelions (Abstand Sonne – Erde am höchsten) (Fabian, 2002).

Es trifft jedoch nur etwa $\frac{1}{4}$ der solaren Strahlung auf die Erdoberfläche, da der restliche Teil bereits in der Stratosphäre von Ozon, Sauerstoff und Wasserdampf absorbiert wird. Die auf die Erdoberfläche eintreffende solare Strahlung von 342 W/m^2 wird zur einen Hälfte durch Albedowirkung wieder in den Weltraum abgegeben bzw. in der Atmosphäre absorbiert, zur anderen Hälfte auf der Erdoberfläche in Wärme umgewandelt.

Dieses Zusammenspiel ergibt auf der Erdoberfläche eine Temperatur von $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ (Fabian, 2002).

Da die tatsächliche Erdoberflächentemperatur aber bei $15 \text{ }^\circ\text{C}$ liegt, ergibt sich eine Rechnung von $15 - (-18) = 33 \text{ }^\circ\text{C}$. Diese Erwärmung von $33 \text{ }^\circ\text{C}$ wird durch den natürlichen Treibhauseffekt herbeigeführt (Fabian, 2002).

Für diesen natürlichen Treibhauseffekt sind laut Sirocko (2009) folgende Treibhausgase mit ihrem jeweils prozentuellen Anteil verantwortlich:

60 % Wasserdampf (H_2O)

26 % Kohlendioxid (CO_2)

6 % Methan (CH_4)

8 % Ozon (O_3).

Die auf der Erdoberfläche - oben erwähnte - entstandene Wärmeenergie wird teilweise wieder in die Atmosphäre in Form von Infrarotstrahlung zurückgegeben.

Hier absorbieren die Treibhausgase diese langwellige terrestrische Strahlung, wodurch diese in den untersten Schichten der Atmosphäre verbleibt und dort zu einer Erwärmung führt (Fabian, 2002).

Dadurch wird ersichtlich, dass ohne den natürlichen Treibhauseffekt eine Temperatur von -18 °C herrschen würde und Leben auf der Erde wegen des fehlenden Wassers unmöglich machen würde (Kappas, 2009).

Folgen von Änderungen der Treibhausgas-Konzentration im Laufe der Erdgeschichte werden in späteren Kapiteln behandelt.

2.1.2. Aerosole

Als Aerosole werden feste oder flüssige Partikel bezeichnet, die zwischen $0,1\text{ }\mu$ und $2,5\text{ }\mu$ groß sind, und je nach Absorptions- und Rückstreuvermögen entweder abkühlend oder erwärmend wirken.

Aerosole entstehen einerseits auf natürliche Weise wie durch Vulkanausbrüche oder Stürme in Trockengebieten, andererseits durch Menschenhand wie durch Verbrennung fossiler Brennstoffe und Biomasse.

Aerosole verweilen in der Troposphäre nur wenige Tage, da sie über Niederschlag ausgewaschen werden. In der Stratosphäre können sie jedoch ein bis drei Jahre verbleiben und sind von großem regionalem Unterschied.

Je nach ihrem Verweilort bewirken sie kurz- bzw. langfristige Folgen (ZAMG, 2016). So haben beispielsweise Sulfataerosole, wie sie bei der Verbrennung von Kohle und Öl oder bei Vulkanausbrüchen freigesetzt werden, eine abkühlende Wirkung: Diese Aerosole reflektieren die Sonnenstrahlung und führen zu einem direkten Kühleffekt.

Rußpartikel in der Troposphäre absorbieren die einfallende Sonnenstrahlung, erwärmen so ihre atmosphärische Umgebung, kühlen aber dabei im Umkehreffekt bodennahe Luftschichten (Kappas, 2009).

Zusätzlich agieren Aerosole als Kondensationskerne für Tröpfchenbildung und ermöglichen auf diese Art Wolkenbildung, die sich ebenfalls negativ auf die Strahlungsbilanz auswirkt.

Aufgrund unzureichender Forschungsergebnisse liegen noch keine sicheren Statistiken über die Auswirkung der Aerosole auf das Klima vor; bis dato wird vermutet, dass der Aerosoleffekt zu einer 20 – 50 prozentigen Abschwächung des Treibhauseffekts führt (Kappas, 2009).

2.2. Hydrosphäre: Ozeane

Ozeane agieren als globale Wärmespeicher, jedoch zeigen sie eine verzögerte Erwärmung und Abkühlung im Vergleich zu terrestrischem Terrain.

Die Wärmeenergie verteilt sich in Ozeanen in eine bis zu 100 m tiefe Schicht, während sie auf dem Festland nur etwa 1 m tief nach unten dringt (Fabian, 2002).

So kann Wasser 1000-mal mehr Wärme speichern, als dies Luft vermag, weshalb die Lufttemperatur über dem Ozean und benachbarter Küstengebiete durch die Temperatur des Oberflächenwassers gesteuert wird.

Windsysteme ermöglichen zusätzlich den Wärmetransport, indem der Südost- und Nordostpassat jeweils südlich bzw. nördlich des Äquators das Oberflächenwasser antreibt und somit im tropischen Atlantik, Pazifik und im Indischen Ozean die Strömung nach Westen treibt. Durch Ablenkung dieser Wassermassen an den Kontinenten entstehen wichtige Strömungen, die für das Klima bestimmter Regionen maßgeblich sind.

Als Beispiel hierfür können etwa der Golfstrom, der Nordatlantikstrom oder der Antarktische Zirkumpolarstrom genannt werden, deren Besonderheiten und Veränderungen in den letzten Jahrtausenden noch in einem späteren Kapitel beschrieben werden (Fabian, 2002).

Weiters ist der Gasaustausch zwischen Ozeanen und der Atmosphäre von großer Bedeutung für die Klimaentwicklung: Ozeane nehmen eine große Menge CO₂ aus der Atmosphäre auf - deshalb werden Ozeane als „CO₂-Senken“ bezeichnet - und verringern somit den CO₂-Wert in der Atmosphäre.

So können sich Ozeane bis zu 50-mal mehr mit CO₂ anreichern (39 000 Gt CO₂) als die Atmosphäre (775 Gt CO₂) (Schinke et. al, 2010).

Die Löslichkeit des CO₂ hängt von der Temperatur und vom Druck ab: Steigt die Temperatur, sinkt die CO₂-Löslichkeit; steigt der Druck, erhöht sich die Löslichkeit. Folglich wird das CO₂ in die (Hydrogen-) Carbonat-Bildung eingebaut, indem es von Organismen z.B. Korallen, Mollusken und Foraminiferen aufgenommen wird.

Zusätzlich dienen Ozeane dem globalen Austausch von Wasser sowie von Substanzen und verursachen die Bildung von tropischen Wirbelstürmen (Kappas, 2009).

2.3. Kryosphäre

Die Kryosphäre umfasst alle weltweiten Eismassen und Schneeablagerungen, zu denen etwa kontinentale Eisschilde, die Schneedecke, das Meereis, Gebirgsgletscher und Permafrostböden zählen.

Diese Eis- und Schneemassen führen einerseits zu einer erhöhten Albedo, die abkühlend wirkt, andererseits je nach Eisbildung oder Eisschmelze zu Salzgehaltsschwankungen im Oberflächenwasser, welche die thermohaline Zirkulation beeinflussen.

2.3.1. Die thermohaline Zirkulation

Bei der thermohalinen Zirkulation kommt es aufgrund von Dichteunterschieden, hervorgerufen durch Temperatur- und Salzgehaltsänderungen, zu einem Wassermassenaustausch im Ozean.

Kaltes Wasser sinkt aufgrund seiner geringen Dichte ab und fließt als Tiefenwasser in niedrigere, wärmere Breiten. Dort wird das Tiefenwasser von Strömungen erfasst, vermischt sich mit wärmerem Oberflächenwasser und gelangt letztlich durch Strömungen und Wind wieder in höhere Breiten, wo es erneut abkühlt und absinkt.

Bei Eisbildung aus Meerwasser, das bei ungefähr $-1,9\text{ °C}$ gefriert, wird das Salz nicht in die Kristallgitter des Eises eingebaut und verbleibt im Meerwasser, was zu einer Erhöhung der Salinität des Meerwassers führt.

Im Falle der Klimaerwärmung, bei der vermehrt Schmelzwasser in die Ozeane gelangt, sinkt die Salinität des Wassers, die Wasserdichte verringert sich, wodurch Wasser weniger gut absinkt und es so zu einer Verringerung der thermohalinen Zirkulation kommt (Ruddiman, 2014).

2.4. Lithosphäre und Biosphäre

Die Lithosphäre, bestehend aus der Erdkruste und dem äußersten Teil des Erdmantels, und die Biosphäre zeigen durch Reliefs als Strömungsbarrieren, durch Böden mit dementsprechender Albedowirkung, durch Vegetation mit Evapotranspiration und durch biogeochemische Stoffkreisläufe ebenfalls große Wirkung auf Klimaentwicklungen.

2.4.1. Albedo

Als Albedo-Effekt wird das Maß für das Vermögen unterschiedlicher Oberflächen, Licht durch Streuung oder Reflexion zurückzustrahlen, bezeichnet.

Hundertprozentige Rückstrahlung wird mit „Albedo 1“, Absorption mit „Albedo 0“ ausgedrückt.

Je dunkler also eine bestrahlte Oberfläche ist, desto geringer ist die Albedo und desto weniger Wärme wird in die Atmosphäre abgegeben.

Neuschnee hingegen hat mit einer hohen Albedo von 0,80 - 0,95 eine sehr hohe Rückstrahlung.

Weitere wichtige Albedowerte:

dichte Wolkendecke: 0,50- 0,80

Sand und Wüste: 0,25- 0,40

Grasland: 0,15- 0,20

Waldgebiete: 0,05- 0,15

dunkler Ackerboden: 0,05- 0,10

Wasserflächen: 0,03- 0,10

Die Albedo beeinflusst den gesamten Strahlungs- und Energiehaushalt der Erde.

Die planetare Albedo auf der Erde beträgt global 0,30 (Ludwig, 2006).

2.4.2. Vegetation und ihre Evapotranspiration

Pflanzen haben aufgrund mehrerer Faktoren eine direkte Klimawirkung:

Zum Einen nehmen sie Kohlendioxid für die Photosynthese auf, speichern den Kohlenstoff zum Teil bzw. geben ihn dann über abgestorbene Biomasse an den Boden ab. Somit entziehen sie der Atmosphäre CO₂. Zum Anderen haben Wälder eine Wirkung auf das regionale Klima, das durch die Evapotranspiration gesteuert wird.

Zwar stellt der C-Speicher der Vegetation mit 0,0008 % im Vergleich zu Sedimenten und Carbonatgesteinen mit 88 % oder auch zum Ozean mit 0,05 % nur einen geringen Anteil an der globalen Kohlenstoffspeicherung dar, jedoch entnimmt die Vegetation aus der Atmosphäre im Vergleich zu den anderen Sphären den meisten Kohlenstoff in Form von CO₂ (Ruddiman, 2014).

Die bei der Photosynthese aufgenommene Menge von CO₂ und die abgegebene Menge von CO₂, die bei der Atmung, aber auch bei der Verwesung von toter Biomasse entsteht, gleichen sich zwar normalerweise aus, jedoch wird nur die Hälfte des entstandenen Kohlenstoffdioxids wieder in die Atmosphäre abgegeben, während die andere Hälfte in den Boden gelangt.

Eine weitere wichtige Rolle spielt die Vegetation beim regionalen Klima.

Das Kronendach von Wäldern absorbiert einen großen Teil der Globalstrahlung, die zur einen Hälfte für die Transpiration verwendet wird, zur anderen Hälfte als Wärme abgestrahlt wird. Durch die Abgabe von Wasserdampf bei der Transpiration dienen Wälder als effektive Kühlflächen im Sommer, weil für die Bildung von Wasserdampf große Mengen der absorbierten Globalstrahlung aufgewendet werden müssen.

Im Winter sind Waldflächen im Vergleich zu ihrem Umland zumeist wärmer, da die Transpiration herabgesetzt ist und die teilweise schneefreien Baumkronen eine geringere Albedo aufweisen, als ihr mit Schnee bedecktes Umland (Fabian, 2002).

Weiters dient der Wald als wichtiger Wasserspeicher, da er durch seine Bewurzelung Wasser effizient in den Boden leitet, aber auch als Bodenerosionsschutz.

Zusätzlich beeinflusst der Wald das Strömungsfeld des Windes und agiert auch als Erhalter der Luftreinheit, indem er Aerosolpartikel sedimentieren und nicht mehr aufwirbeln lässt (Fabian, 2002).

Aber nicht nur im Wald, sondern auch auf unbewachsenem Boden verdunstet Wasser (Evaporation).

Die Evapotranspiration beschreibt somit die Summe aus Transpiration und Evaporation.

2.4.3. Biogeochemische Stoffkreisläufe

Zwischen Boden, Atmosphäre und Vegetation finden biogeochemische Stoffkreisläufe statt. Der Kohlenstoffkreislauf und der Stickstoffkreislauf stehen im Folgenden im Vordergrund, da später aufgezeigt werden wird, wie der Mensch mit Einbringung von CO₂ und Stickstoff (z.B. in Form von Ammonium oder Stickstoffoxiden) in die natürlichen Stoffkreisläufe eingreift.

2.4.3.1. Der Kohlenstoffkreislauf

Die globale gespeicherte Kohlenstoffmenge beläuft sich auf etwa 75 Mio. Gt C.

Davon fällt mit 99,8 % die größte Menge auf die Lithosphäre: 79 % befinden sich in Sedimenten und daraus entstandenem Calcit und Dolomit, 20 % in Kerogenen¹, der Rest verteilt sich auf Gashydrate, fossile Energieträger wie Kohle, Erdgas und Erdöl und Böden mit Humus- und Torfauflagen (Kappas, 2009).

Die anderen 0,2 % des weltweiten Kohlenstoffs verteilen sich auf die Hydrosphäre (z. B. Hydrogenkarbonat), die Biosphäre (Carbonate oder organische Stoffe) und die Atmosphäre (u. a. CO₂).

Die größten Kohlenstoffflüsse laufen hingegen zwischen der Atmosphäre und der Vegetation sowie der Atmosphäre und Ozeanen ab.

Obwohl der CO₂-Anteil in der Atmosphäre nur 0,001 % am globalen Gesamtkohlenstoff ausmacht und mit nur 0,046 % am Luftgemisch Anteil nimmt, zählen die Kreisläufe der Atmosphäre zu jenen, die kurzfristig ablaufen und mit deren Folgen schnell zu rechnen ist (Kappas, 2009).

¹ Kerogene: fossile, polymere, organische Stoffe

2.4.3.2. Der Stickstoffkreislauf

Mit einem Anteil von 78 % am Luftgemisch der Atmosphäre stellt der Stickstoff die größte Komponente am Luftgemisch dar und hat mit 4 000 000 Gt N den größten Anteil am globalen Stickstoffpool. Weiters wird Stickstoff in Landpflanzen und Biomasse gespeichert (gesamt 3,5 Gt) (Fabian, 2002).

Stickstoff ist für Lebewesen und Pflanzen für den Aufbau von Proteinen unerlässlich, muss jedoch zuerst „fixiert“ werden, also in verwertbare Substanzen umgewandelt werden (Ammonium, Nitrat), damit es von Lebewesen und Pflanzen aufgenommen werden kann.

Einerseits erfolgt diese Fixierung durch Zerlegung von Blitzen, wobei es anschließend zu diversen Reaktionen kommt, die letztlich Salpetersäure produzieren. Diese gelangt anschließend über Niederschlag in die Biosphäre. Andererseits können Bakterien den Luftstickstoff binden und in verwertbare Formen (siehe oben) umwandeln, die dann von Pflanzen verwertet werden können.

Werden Pflanzen von Tieren gefressen, dient der Stickstoff den Tieren zur Proteinsynthese und wird anschließend in Form von Harnstoff ausgeschieden. Dieser kann von Pflanzen wieder als natürlicher Dünger genutzt werden (Mortimer, 2010).

Verschiedenste Formen des Stickstoffs, die bei der Denitrifikation von Nitrat (NO_3^-) beziehungsweise bei der Verwesung toter Pflanzen und Tieren entstehen, z. B. N_2 , NO (Stickstoffmonoxid), N_2O (Lachgas), werden der Atmosphäre wieder rückgeführt (Mortimer, 2010).

3. Klimaveränderungen durch natürliche Faktoren in der Erdgeschichte

Bereits vor dem Auftreten des ersten Vertreters der Gattung *Homo*, dem *Homo habilis*, vor 2,5 Mio. Jahren kam es zu Änderungen des Klimas und somit zu teilweise erheblichen Temperaturschwankungen, die sich auf das Leben der Erde - manchmal mehr, manchmal weniger - auswirkten.

In diesem Kapitel sollen nun bestimmte Klimaereignisse und deren zu Grunde liegende Faktoren aufgezeigt werden, die sich von der Entstehung der Erde bis ins Neogen abspielten. Da jedoch der Schwerpunkt dieser Arbeit auf dem anthropogenen Einfluss auf das Klima liegen soll, werden folglich nur einige Ereignisse näher betrachtet, denen auch heutzutage noch eine große Rolle in unserem Klimasystem zukommt.

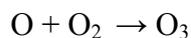
3.1. Bildung der Ozonschicht

Nach der Entstehung der Erde vor etwa 4,5 Mrd. Jahren dauerte es etwa 1 Mrd. Jahre, bis Leben auf der Erde entstand:

Durch das Auftreten von Cyanobakterien kam es erstmals in der Erdgeschichte zu Photosynthese, die der Atmosphäre große Mengen CO_2 entzog. Erst der dabei entstandene Sauerstoff, der eine Ozonschichtbildung bewirkte, ließ Leben auf der Erde entstehen (Ludwig, 2006).

In Folge hoher UV- Bestrahlung können sich O_2 -Moleküle in einzelne O-Atome spalten, die sich wiederum an O_2 -Moleküle anlagern und somit O_3 (Ozon) bilden können.

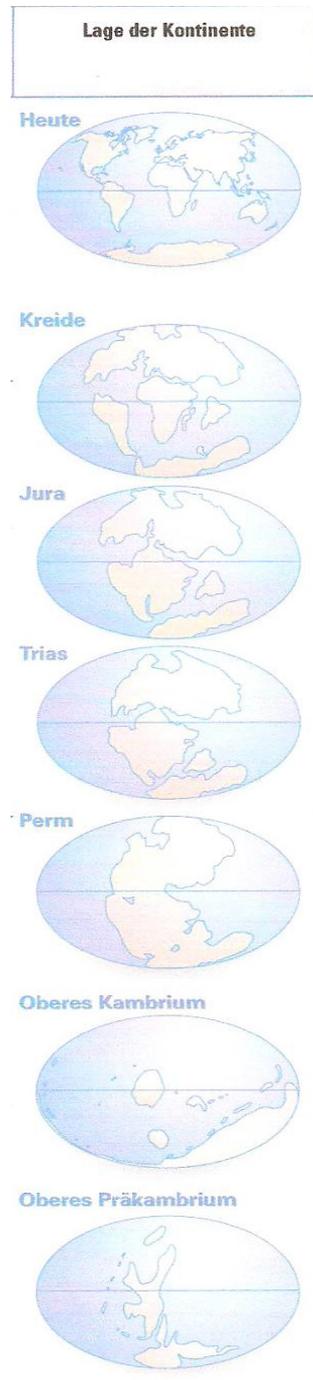
Ozonbildung: $\text{NO}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}$



Diese Ozonschicht agiert in der Atmosphäre auch heute noch als Filter für UV-Strahlung und schützt dadurch Organismen auf der Erde vor kurzwelliger Strahlung (Mortimer, 2007).

3.2. Klimafaktoren im Paläozoikum

So entstanden im Präkambrium die ersten Prokaryoten und anschließend tierische und pflanzliche Eukaryoten.



Die im Silur entstandenen Landpflanzen – z.B. die erste aufrecht wachsende Gefäßpflanze *Cooksonia* - spielten im Kohlenstoffkreislauf noch wenig mit. Erst im Devon entstanden ausgedehnte Wälder aus Bärlapp-, Farn- und Schachtelhalmgewächsen.

Durch ihren C-Entzug aus der Atmosphäre und anschließender Bildung von Steinkohlelagerstätten kam es zu einem starken Abfall des CO₂-Wertes ab der Mitte des Devons von 4000 ppm bis zur Mitte des Karbons auf etwa 300 ppm. Dafür stieg der O₂-Anteil in der Atmosphäre.

Auch die Temperatur ging in dieser Zeitspanne um ca. 10 °C zurück.

Wie in Abb. 2 ersichtlich, änderten sich im Laufe des Erdzeitalters die Formen und die Lagen der Kontinente.

So befand sich ein Teil Gondwanas (Südamerika, Afrika, Australien, Antarktis und Indien) im Ordovizium, wie auch im Karbon in Südpollage. Dies und das Unterbrechen von tropischen Meeresströmungen auf Grund plattentektonischer Veränderungen führte zu Eiszeiten.

Abbildung 2: Veränderungen der Kontinente seit dem Präkambrium bis heute (Klett-Verlag, 12.09.2015)

Die Bildung des Superkontinents Pangäa, eine Fusionierung aller Kontinente zu einem einzigen, brachte Gebirgsauffaltung und Vulkanbildung, sowie die Unterbrechung des

Wärme- und Wasseraustauschs mit sich, da nur mehr ein Ozean (Panthalassa) und eine Meereszone (Tethys) mit geringer Zirkulation existierte.

Vom Übergang Perm zur Trias trat ein großes Massensterben ein, das 95 % der marinen und 75 % der landlebenden Organismen auslöschte. Die Gründe hierfür werden noch heute kontrovers diskutiert: So könnten etwa die vermehrt im Perm entstandenen Vulkane und deren Freisetzung von CO₂ und CH₄ einerseits zur Erhöhung des Treibhauseffekts und andererseits zur Schädigung der Ozonschicht geführt haben, wobei Letztere auch einen vermehrten Strahlungseinfluss auf die Erde induziert haben könnte. Globale Erwärmung wiederum hätte zu einem Anstieg des Meeresspiegels führen können. Auch ein Meteoriteneinschlag mit der Folge von Tsunamis wird nicht ausgeschlossen (Ludwig, 2006).

Fest steht, dass es bereits im Laufe des Perms und v. a. in der Trias wieder zu einem starken Temperaturanstieg kam, der mit einer globalen Mitteltemperatur von etwa 23 °C wohl den Höchstwert erreichte (Abb. 3).

3.2.1. Wirkung von Vulkanausbrüchen auf das Klima

Bei Vulkaneruptionen werden u. a. CO₂ und SO₂ ausgestoßen, die als Treibhausgase agieren und in Folge die globale Mitteltemperatur erhöhen. Jedoch überwiegt eher der Abkühlungstrend nach Vulkanausbrüchen, da der Strahlungsantrieb aufgrund der Aerosolbildung, wie sie im Anschluss erläutert wird, meist negativ ausfällt. Die Aerosolbildung wird u. a. durch SO₂ ermöglicht: In der Atmosphäre wird SO₂ zu Schwefelsäure umgewandelt, die zusammen mit Wasser Tröpfchen bildet, die wiederum als Aerosole die Albedo erhöhen und somit zur Abkühlung führen. Weiters gelangen feinkörnige Aschepartikel in die obere Troposphäre bzw. untere Stratosphäre und werden so über tausende Kilometer horizontal verteilt (Buggisch, 2001). Während diese Partikel nur wenige Tage bis Wochen in der Troposphäre verbleiben, überdauern sie in der Stratosphäre einige Monate bis maximal zwei Jahre und führen dabei zu Reflexion bzw. Absorption der Sonneneinstrahlung, was zu weiterer Abkühlung führt.

Bei großen Vulkanausbrüchen, wie etwa dem im Jahre 1991 auf den Philippinen (Pinatubo), sank die globale Temperatur um durchschnittlich 0,6 °C in den nächsten zwei Sommern. Der positive Strahlungsantrieb durch die ausgestoßenen Treibhausgase belief sich auf +1,5 W/m², während die Aerosol-Albedo-Wirkung mit -4,0 W/m²

letztlich zu einem negativen Strahlungsantrieb führte (ZAMG Vulkane, 2016).

3.3. Klimabedingtes Massenaussterben im Mesozoikum

Mit dem großen Aussterben am Ende des Perms traten ab Mitte der Trias die Dinosaurier auf, die nun vom heißen Klima auf der Erde, wie in Abb. 3 sichtbar, profitierten. Durchschnittlich lagen die Temperaturen im Mesozoikum um 8°C höher, was auch einen 80 m höheren Meeresspiegel im Vergleich zu heute vermuten lässt.

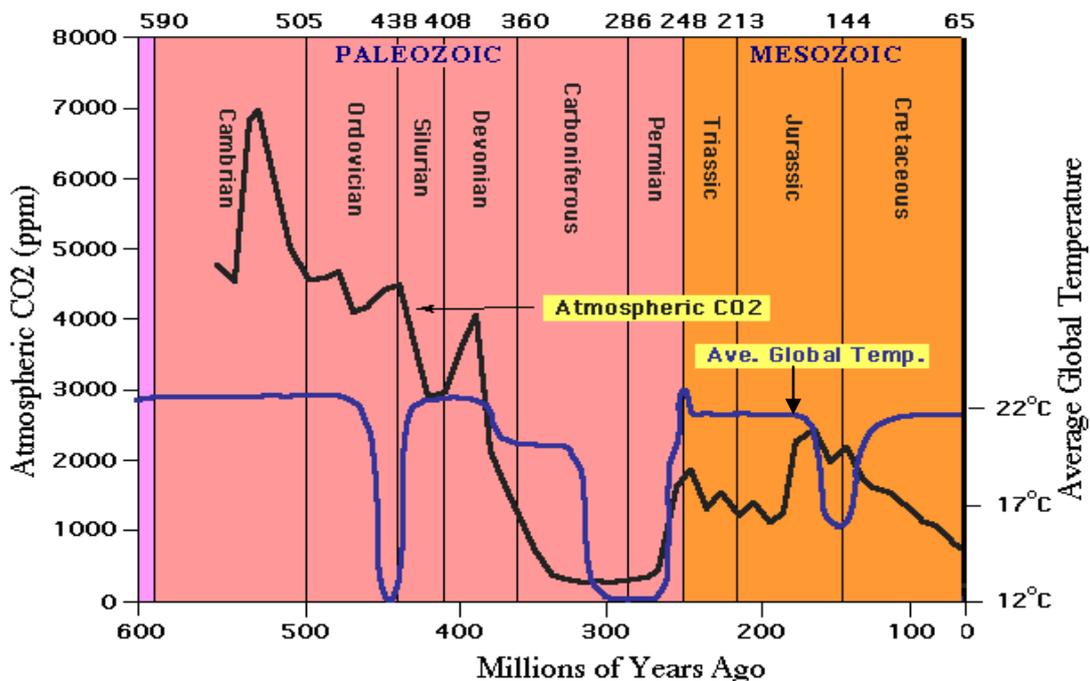


Abbildung 3: Temperatur- und Kohlendioxidschwankungen vor 600 Mio. Jahren bis 65 Mio. Jahren vor heute (In Anlehnung an: Vademecum, 10.1.2016)

Am Ende der Trias vor etwa 199 Mio. Jahren kam es zu einem weiteren Massenaussterben, bedingt durch das Aufbrechen von Pangäa: Wassermassen des Tethys-Meeres, das ein Teilbereich des Panthalassa-Ozeans an der Ostküste des Superkontinents war, drangen von Osten her zwischen die durch Plattentektonik aufreißenden Kontinentalplatten ein und bildeten so das Atlantikbecken im Jura. Als Folge erhöhten sich die Meeresströmungen sowie die atmosphärische Zirkulation.

Im Laufe des Mesozoikums nahmen die Kontinente ungefähr ihre heutigen Formen an, wenn auch noch nicht ihre heutige Lage, und es entstanden die heutigen Weltmeere (Abb. 2).

Durch die Entwicklung von ersten Blütenpflanzen (Bedecktsamer) zu Beginn der Kreide und der Bildung riesiger tropischer Wälder, fiel der CO₂-Wert von etwa 2000 ppm auf etwa 250 ppm bis zu Beginn des Känozoikums.

Vor 65 Mio. Jahren, am Ende der Kreide, kam es zum wohl bekanntesten Massenaussterben in der Erdgeschichte: Alle Landtiere, die über 25 kg wogen, starben aus, also auch die Dinosaurier. Am meisten betraf die „Aussterbewelle“ wohl die marinen Tiere mit etwa 90 % Artensterben.

Über Ursachen für dieses Massensterben wird heute noch sehr kontrovers diskutiert, die gängigste Erklärung ist jedoch ein Meteoriteneinschlag mit einem Ausmaß von etwa 10 km Durchmesser (Fundstelle in Mexiko mit geschockten Quarzen und Tektinen, die durch den Einschlag entstanden sind, sowie mit erhöhten Iridiumwerten in diversen Fundstellen weltweit). Diesem Meteoriteneinschlag könnten etwa Erdbeben, Tsunamis oder Waldbrände durch glühende Gesteinsbrocken gefolgt sein.

Aber auch das Aufwirbeln großer Mengen an Staub wird nicht ausgeschlossen, was eine Abschirmung von eintreffenden Sonnenstrahlen induziert haben könnte, dem sich wiederum ein Temperaturrückgang anschloss.

Auch das Ausbrechen vieler Vulkane zählt zu den möglichen Folgen des Meteoriteneinschlags. Abgesehen von den negativen Rückkopplungen, die dem Vulkanausbruch folgten, wären etwa Schwermetallvergiftungen der Lebewesen und Säureregen eine mögliche Erklärung für das „Massenaussterben“ am Ende der Kreidezeit (Ludwig, 2006).

3.3.1. Auswirkungen der Plattentektonik auf das Klima

Der Aufbau der Erde erschließt sich aus dem Erdkern, dem Erdmantel und der Erdkruste. Während der Erdkern flüssig und der untere Teil des Erdmantels aufgrund hoher Druck- und Temperaturverhältnisse flüssig bis plastisch ist, sind der obere Teil des Erdmantels und die Erdkruste fest (Lithosphäre).

Die feste Erdkruste entwickelte sich im Präkambrium aus dem Erdmantel, wobei sich dabei zwei zu unterscheidende Krusten (Platten) bildeten: die kontinentale und die ozeanische Platte. Die kontinentale Platte ist 30 - 70 km dick und besteht hauptsächlich aus Granit und Diorit, hingegen setzt sich die bis zu 5 - 10 km dicke ozeanische Platte hauptsächlich aus Basalt zusammen.

Da die kontinentale Kruste aufgrund ihrer Zusammensetzung eine geringere Dichte aufweist, ragt sie über die ozeanische Kruste hinaus. Beide bewegen sich auf der Lithosphäre jährlich einige Zentimeter weit.

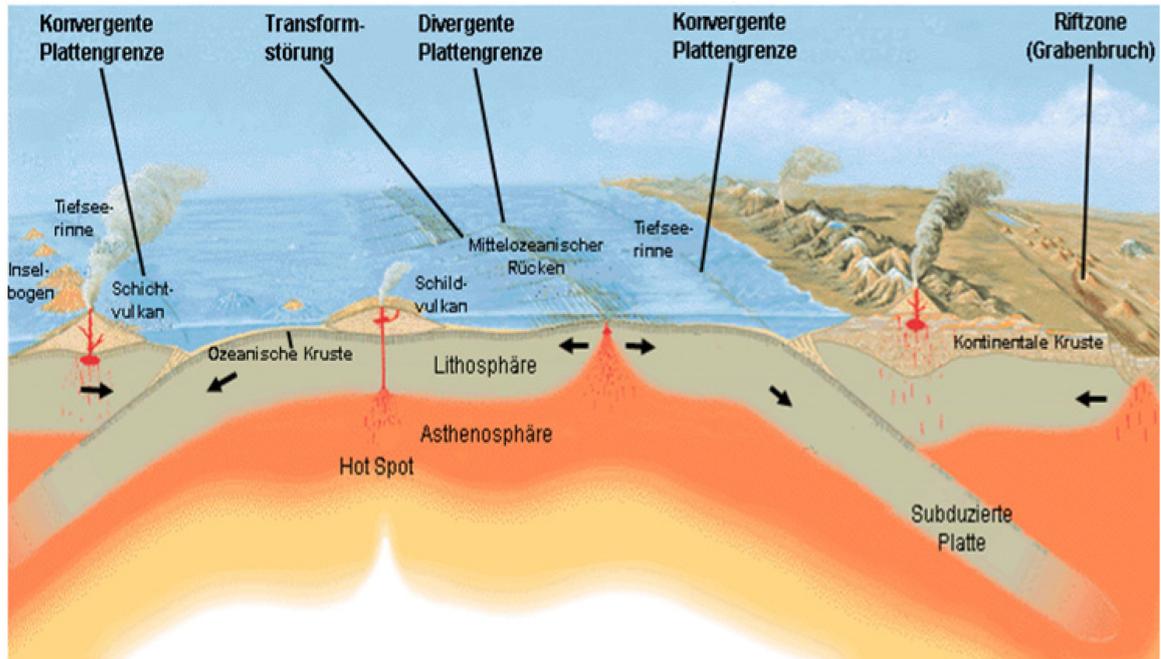


Abbildung 4: Querschnitt durch die für die Plattentektonik relevanten Schichten der Erde inklusive Folgen plattentektonischer Aktivitäten (ZAMG, 30.1.2016)

Driften Platten auseinander (divergente Platten), so kann Magma bis an die Oberfläche gelangen, sich dort als Lava aus großen Spalten ergießen und als sogenannter mittelozeanischer Rücken erstarren. (Abb. 4)

Die Bildung derartiger Rücken hatte in der Erdgeschichte oftmals klimatische Folgen: So wird eine große Menge an Ozeanwasser verdrängt, das den Rand der Kontinente flutet. Die Zunahme der ozeanischen Fläche führt durch die geringere Albedo des Wassers im Vergleich zu terrestrischer Fläche - wie in Kapitel 2.4.1. beschrieben - zu einer Klimaerwärmung. Diese Erwärmung wird durch das Ausströmen von CO₂ aus der Mantelentgasung noch verstärkt (Buggisch, 2001).

Divergente Platten verursachten etwa auch die Abspaltung Nordamerikas, der antarktisch-australischen Landmasse und Indiens von Gondwana in der Jurazeit.

Ein weiterer geologischer Prozess, nämlich die Subduktion einer Platte (Abb.4) nach dem Aufeinandertreffen zweier Platten (konvergierende Platten), leitet ebenfalls Klimaveränderungen ein: Das abtauchende Plattenmaterial schmilzt aufgrund des Drucks und der Temperatur auf und gelangt in Form von Lava durch Vulkane wieder an

die Oberfläche. Dabei entlässt der Vulkan CO₂ und weitere Treibhausgase (Ruddiman, 2014).

Mit dem Abtauchen der Eurasischen unter die Afrikanische Platte begann im Mesozoikum die Alpidische Gebirgsbildung. Derartige Gebirgsbildungen gehen mit Änderungen der Windrichtung und der Niederschlagsverteilung einher.

Weitere Folgen plattentektonischer Tätigkeit zeigen sich durch Änderungen von Meeresströmungen, aber auch durch vermehrte Eisbildung, gefolgt von erhöhter Albedo, sobald Landmasse auf die Pole trifft (Behringer, 2007).

Auch heutzutage macht sich die Plattentektonik in Form von Erdbeben, Vulkantätigkeit, Tsunamis usw. bemerkbar.

3.4. Entstehung rezent wirksamer Klimafaktoren vom Paläozän bis ins Pleistozän

3.4.1. Plattentektonik und Einsetzen der thermohalinen Zirkulation im Paläogen

Hohe tektonische Aktivität, gefolgt von Vulkanismus und CO₂-Ausstoß aus dem Erdmantel dominierten das Klima zu dieser Zeit.

An den ab Beginn des Paläogens steigenden Temperaturen hatte die Freiwerdung von Methan großen Anteil. So dürfte das erwärmte Meerwasser Methangas aus Ozeansedimenten freigesetzt haben, das als Treibhausgas die Erderwärmung förderte (Sirocko, 2013).

So gab es am Ende des Paläozens/Beginn Eozäns einen Wärmehöhepunkt, wie auch im Eozän einen weiteren. Die Durchschnittstemperatur im Eozän dürfte für etwa 200 000 Jahre um ca. 12 °C höher gewesen sein als heute (Abb.5). Eine derartige Erwärmung trat seitdem nicht wieder ein.

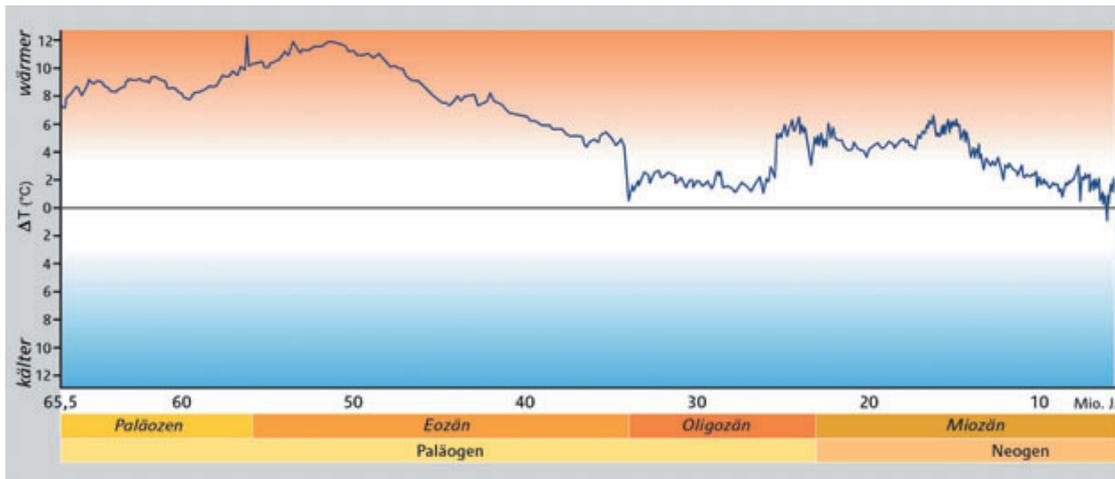


Abbildung 5: Temperaturschwankungen im Paläogen bis ins untere Neogen (0-Linie in der Abbildung entspricht der heutigen globalen mittleren Temperatur von 15 °C) (Bubbenzer, 2007, S. 22)

Vor etwa 50 Mio. Jahren kam es im Eozän durch mehrere Ereignisse zum allmählichen Absinken der Temperaturen.

So driftete die Antarktis, eingeleitet durch plattentektonische Veränderungen, in Richtung Südpol. Des Weiteren führte die Öffnung der Drake-Passage (zwischen Antarktis und Südamerika) dazu, dass die Antarktis von nun an von einem Zirkumpolarstrom durch Westwinddrift umgeben war, der zur Bildung von kaltem ozeanischem Tiefenwasser führte, die weit Richtung Äquator reichen.

Der Südpol war von nun an von wärmerem Wasser abgeschirmt, weshalb es zu Packeisbildung und kontinentaler Vereisung kam.

Diese Vereisung der Antarktis dauert bis heute an, weshalb wir seither in einer Eiszeit leben (Haug, 2001).

Zusätzlich nahmen positive Rückkopplungen ihren Lauf: Die zunehmende Vereisung ließ die Albedo steigen. CO₂ wurde in das nun kühlere Meerwasser verstärkt aufgenommen bzw. betrieb Phytoplankton im kühleren Oberflächenwasser intensiv Photosynthese, womit der Atmosphäre weiteres CO₂ entzogen wurde.

Diese Rückkopplungen setzten den natürlichen Treibhauseffekt herab und führten so zu einer globalen Temperaturabnahme bis ins Oligozän auf ca. 16 °C. (Abb. 5) (Behringer, 2007).

Mit dem Absinken der kalten Wassermassen in der südlichen Polarregion wurde auch die thermohaline Zirkulation in Gang gesetzt, die fortan den Austausch von

Ozeanwasser zwischen dem Atlantik, dem Pazifik und dem Indischen Ozean ermöglichte.

Konvergierende Platten ließen heutige sehr bekannte Gebirge wie die Rocky Mountains, die Anden, den Himalaya und die Alpen im mittleren Eozän entstehen.

Durch die Gebirgsbildung des Himalaya entstand beispielsweise der auch noch heute wirksame südost-asiatische Monsun (Behringer, 2007).

3.4.2. Vulkanismus fördert Abkühlungstendenz im Miozän

Der Beginn des Miozäns vor etwa 23 Mio. Jahren war durch Erwärmung gekennzeichnet, deren Ursache wahrscheinlich tektonische Veränderungen waren.

Wichtige Änderungen in der Plattentektonik zeigten sich etwa durch den Zusammenschluss von Afrika und Europa.

Dabei auftretende Subduktionen, Gebirgsbildungen und mittelozeanische Rücken führten dazu, dass vermehrt Magma, Wasserdampf, Kohlendioxid und Methan in die Atmosphäre gelangten, und dass die genannten Gase die Globaltemperatur auf etwa 21 °C erhöhten (Sirocko, 2013), (Abb. 5).

Mit dem Einsetzen von Vulkanismus kam es ab dem mittleren Miozän zu einer Temperaturverringerung, die gegen Ende des Miozäns etwa 2 °C mehr als heute betrug. Zu den wichtigen Änderungen im Miozän zählen etwa die Öffnung der Fram-Straße (Seeweg zwischen Nordatlantik und dem Arktischen Ozean), die es dem Nordpolarmeer von nun an ermöglichte, am globalen ozeanischen Wärmeaustausch „teilzunehmen“, oder die Bildung der Straße von Gibraltar, welche die Verbindung zwischen Atlantik und Mittelmeer schloss (Ludwig, 2006).

Die voranschreitende Abkühlung führte am Ende des Miozäns (vor 7- 8 Mio. Jahren) zum Beginn der Vereisung von Grönland und der Nordhemisphäre.

3.4.3. Golfstromentstehung im Pliozän

Der klimatische Verlauf des Pliozäns war tendenziell von Abkühlung und zunehmender Trockenheit geprägt. (Abb. 6)

So trug u. a. die zunehmende Vereisung der Nordhemisphäre dazu bei, dass der Meeresspiegel sank und dass dadurch wiederum die Trockenheit zunahm.

Durch Zunahme der Eisflächen erhöhte sich auch die planetare Albedo, die die Abkühlung und Austrocknung weiter vorantrieb.

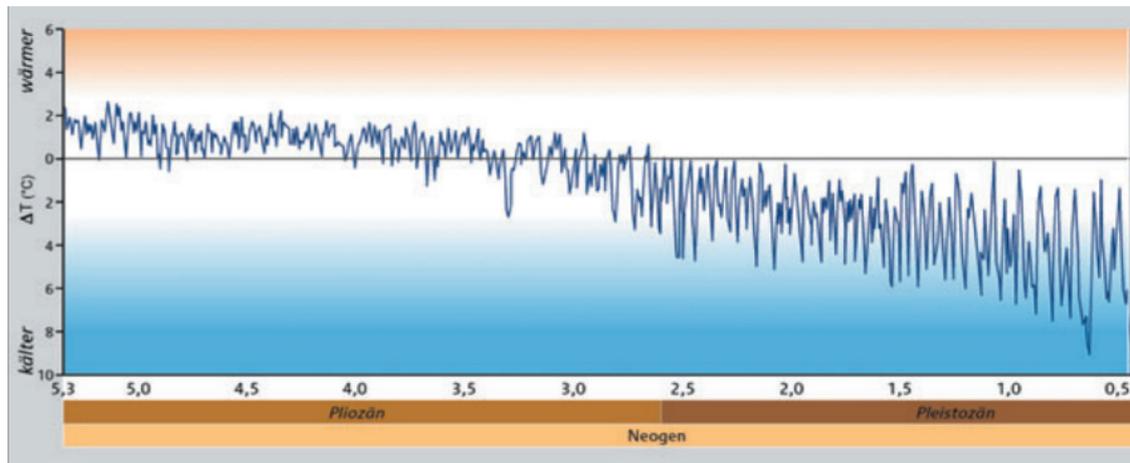


Abbildung 6: Temperaturschwankungen im Pliozän und Pleistozän (Bubenzer, 2007, S. 22)

Neben bereits “bekannten“ Klimafaktoren wie Vulkanausbrüchen, plattentektonischen Änderungen, wie z.B. der Norddrift der australischen Platte, und damit verbundenen Strömungsänderungen - zu Land und zu Wasser - trat noch ein weiterer Klimafaktor hinzu, der auch heute noch große Auswirkungen auf das Klima hat: der Golfstrom (Ludwig, 2006).

Mit der sich stetig anhebenden Karibischen Platte erreichte die Meerestiefe vor etwa 5 Mio. Jahren nur mehr etwa 100 m zwischen Nord- und Südamerika.

Nachdem vor etwa 7 Mio. Jahren die Pazifische und die Karibische Platte kollidiert waren, entstand so in den weiteren Millionen Jahren ein Landstreifen, der Nord- und Südamerika verband - der Isthmus von Panama (Duwe, 2015).

Die Schließung des zentralamerikanischen Seeweges hatte zur Folge, dass der Wasseraustausch zwischen dem Pazifik und dem Atlantik nicht mehr gewährleistet war, weshalb sich der Atlantik im Bereich der Karibik stark erwärmte. Dies induzierte wiederum eine höhere Salinität im Atlantik um ein Promille, da das Oberflächenwasser verdunstete und die Salzkonzentration stieg (Haug, 2001).

Dieser Salinitätsunterschied hält bis heute an: Der Atlantik führt mit 3,54 % mehr Salz als der Pazifik mit 3,45 %.

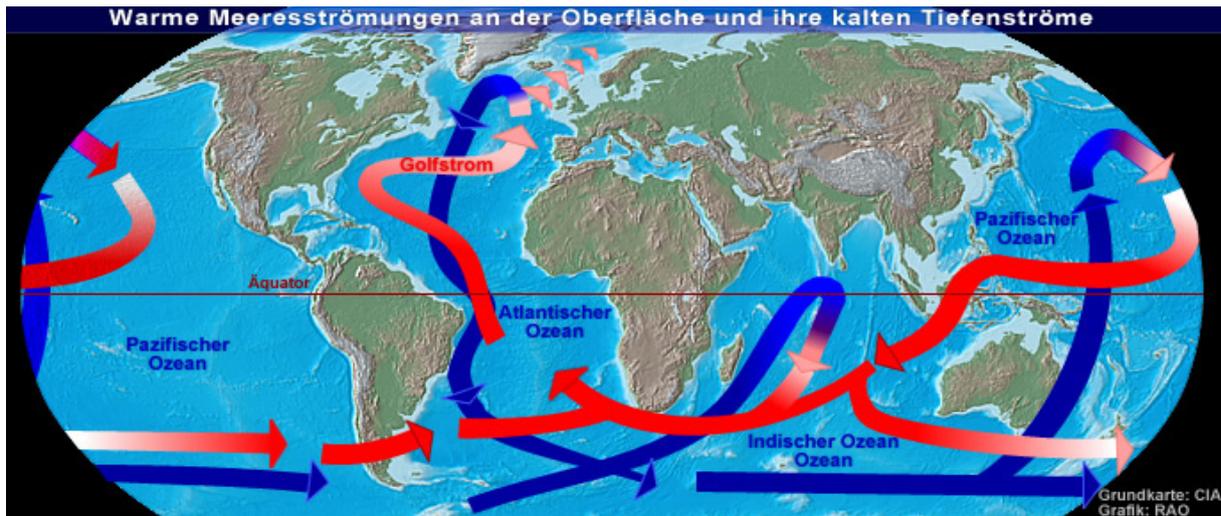


Abbildung 7: Globale thermohaline Zirkulation (heute) inkl. Golfstrom (RAO, 23.10.2015)

Wie in Abbildung 7 ersichtlich ist, fließt das warme Oberflächenwasser der Karibik in Richtung hohe nördliche Breiten und versorgt diese mit Wärme und Feuchtigkeit.

Der Golfstrom selbst beginnt im Golf von Mexiko, wobei ihm der Südäquatorialstrom und die Karibische Strömung bereits erwärmtes Wasser zukommen lassen.

Als Fortsetzung des Golfstroms agiert der Nordatlantikstrom; das Oberflächenwasser kühlt bis Island so weit ab, dass es beginnt abzusinken. So erreicht das Wasser südwestlich von Grönland bzw. nordöstlich von Island seinen Tiefpunkt bei 2000 - 3000m. Das kalte, nährstoffreiche Tiefenwasser fließt danach in entgegengesetzter Richtung bis in die Antarktis.

Der Golfstrom wird aufgrund seines Wärmetransports nach Nordeuropa auch als „Warmwasserheizung“ oder „Zentralheizung“ Europas bezeichnet, da Westwinde die warme Luft des Golfstroms über Europa wehen. Somit liegt die Temperatur heutzutage um etwa 5 Grad höher als beispielsweise auf demselben Breitengrad in Nordamerika (Ökolog Niederösterreich, 2015).

3.4.4. Klima-Periodizitäten ab dem Pleistozän

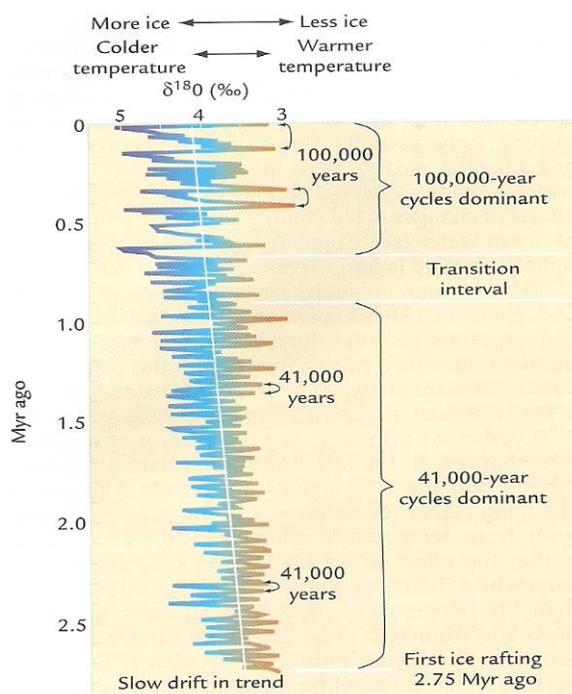
Der Abkühlungstrend des Pliozäns setzte sich auch noch im Pleistozän fort, wobei hierfür die Schließung des Isthmus von Panama als Ursache angesehen wird.

Diese hatte zu einer Änderung der Strömungen in den Ozeanen geführt, da kein Wasseraustausch zwischen Pazifik und Atlantik in diesem Bereich mehr stattfand.

Die bereits im Pliozän begonnene Vereisung der Antarktis inklusive deren positive Rückkopplungen trieben die globale Abkühlung weiter voran.

Bereits vor 2,75 Mio. Jahren im Pliozän zeichnete sich ein erstes Muster der Klimavariabilität ab: Etwa alle 41 000 Jahre trat eine Warmzeit ein, auf die wiederum eine Kaltzeit folgte. Dieser Rhythmus war großteils auf die Änderung der Neigungsachse der Erde zurückzuführen. (siehe Kapitel 3.4.4.1)

Mithilfe des seit Beginn der Eiszeit gebildeten Eises lassen sich heutzutage anhand von Isotopenanalysen der eingeschlossenen Luftblasen im Eis Temperaturrekonstruktionen, wie in Abb. 8 anhand des $\delta^{18}\text{O}$ -Isotops, erstellen.



Anhand der eben erwähnten Sauerstoff-Isotope werden Warm- und Kaltzeiten heutzutage in sogenannte MIS-Stadien („Marine Isotopic Stage“) eingeteilt (Abb. 9): Warmzeiten (Interglaziale) entsprechen dabei ungeraden Zahlen (z.B. MIS 1 $\hat{=}$ heutige Warmzeit), Kaltzeiten (Glaziale) entsprechen geraden Zahlen (z.B. MIS 2 $\hat{=}$ letzte Kaltzeit, Würm) (Sirocko, 2013).

Abbildung 8: Periodizität von Kalt- und Warmzeiten der letzten 2,75 Mio. Jahre (Ruddiman, 2014, S. 206)

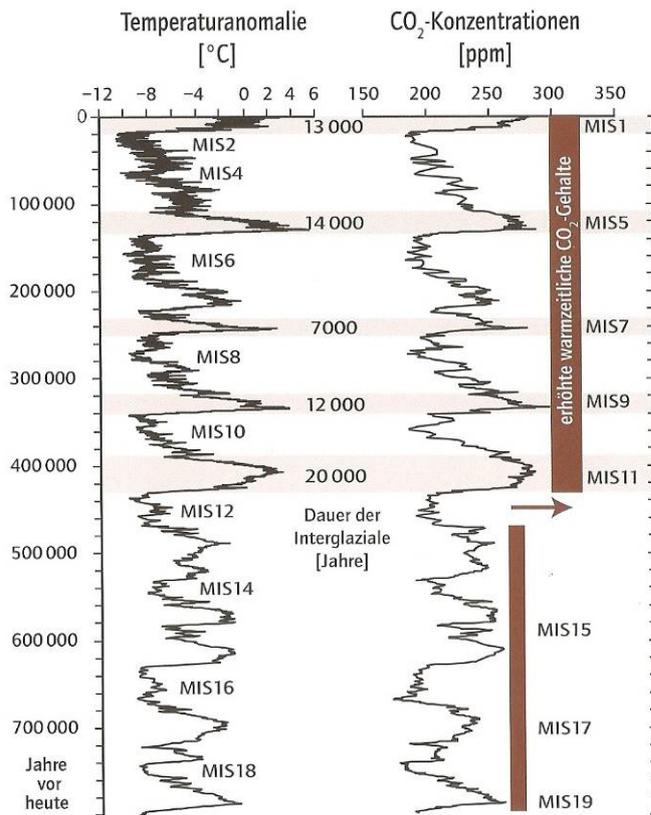


Abbildung 9: Vergleich der Temperaturanomalie mit den CO₂-Konzentrationen der letzten 800 000 Jahre (Sirocko, 2013, S. 81)

Dadurch dürfte der C-Kreislauf möglicherweise so beeinflusst worden sein, dass der atmosphärische CO₂-Gehalt zugenommen und zu Warmzeiten geführt haben könnte.

Hingegen zeigt sich, dass der CO₂-Gehalt scheinbar nicht ausschlaggebend für den Beginn einer Kaltphase war, da der Temperaturrückgang bereits vor einem CO₂-Abfall einsetzte. Hierbei scheinen die Orbitaleinflüsse, i. B. eine verringerte Insolation, eine Rolle zu spielen.

Ab einem bestimmten Insolations-Grenzwert fällt die Jahresschneebilanz positiv aus, was somit zur Bildung einer Schneedecke führt, aus der durch positive Rückkopplungsprozesse letztlich Eisdecken bzw. Gletscher entstehen und eine neue Kaltzeit anbricht (Sirocko, 2013).

Zusammenfassend herrscht seit dem Pleistozän eine Rhythmizität von etwa 100 000 Jahren zwischen den Warmzeiten. Die Warmzeiten dauern zwischen 7000 und 20 000 Jahre an.

Die Temperaturrekonstruktionen zeigen seit MIS 11 wärmere Warmzeiten als zuvor.

Zusätzlich korrelieren auch die CO₂-Werte mit den Temperaturwerten: Einem CO₂-Anstieg gingen Kaltzeiten, verbunden mit großen Vergletscherungen, voraus.

Diese Vergletscherungen führten zu Bodenerosionen, die wiederum Sedimente an die Oberfläche brachten, die anschließend verwitterten.

Die letzte Warmzeit des Pleistozäns war das Eem (vor 126 000 – 115 000 Jahre), das um etwa 2 °C wärmer war als unsere derzeitige Warmzeit. Nach der Eem-Warmzeit (MIS 5) setzte die letzte Kaltzeit – Würm genannt – ein, die ihren letzten Höhepunkt vor ca. 20 000 Jahren hatte und seitdem kommt es langsam, aber nicht kontinuierlich, zu einer Temperaturzunahme (Kaltphasen: Dryaszeiten, Wärmeperioden: Bölling, Alleröd und Atlantikum).

Im Durchschnitt unterschieden sich Warm- und Kaltzeiten um 10 – 12 °C (Endlicher, 2015).

3.4.4.1. Die Milanković-Zyklen

Mit Beginn der 1920er Jahre veröffentlichte der kroatische Mathematiker und Geophysiker Milutin Milanković erstmals seine Theorien über den Zusammenhang zwischen Orbitalvariationen und Eiszeiten.

So sollte die Sonneneinstrahlung in den nördlichen Breiten durch drei Orbitaleigenschaften beeinflusst werden: die Neigung der Erdachse, die Form der Umlaufbahn um die Sonne und die Präzessionsbewegung der Erdachse (Peter, 2002).

Die Neigung der Erdachse (Obliquität) schwankt zwischen etwa 22° und 24,5° innerhalb von 41 000 Jahren.

Abbildung 10 zeigt die Schwankungsmöglichkeiten der Erdachse.

Die Neigungsachse bestimmt unsere Jahreszeiten: Auf der Nordhalbkugel herrscht deshalb der Sommer um die Jahresmitte herum, da hier die Nordhemisphäre mehr zur Sonne geneigt ist

als die Südhemisphäre; hingegen herrscht zu dieser Zeit wegen der geringeren Sonneneinstrahlung auf der Südhemisphäre Winter.

Je mehr die Erde geneigt ist, desto ausgeprägter fallen die Jahreszeiten aus, da die jeweils betroffene Hemisphäre direkter/indirekter zur Sonne steht und somit mehr/weniger Sonnenstrahlung auf diese trifft.

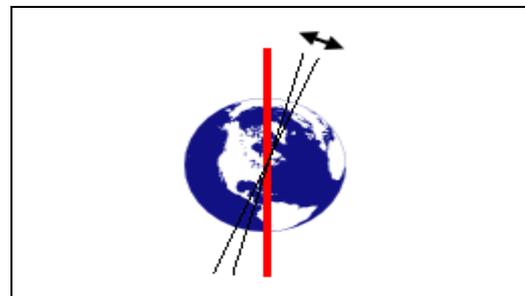


Abbildung 10: Erdneigungsachse
(rote Linie: würde der Erdachse entsprechen, wenn sie normal zur Ekliptik stehen würde; schwarze Linien: zeigen tatsächliche Neigung der Erdachse bzw. deren Schwankungen)
(Paeger, 27.10.2015)

Milanković fand weiters den Zusammenhang zwischen der Lage der Erdachse und dem Vorkommen von Eiszeiten bzw. Warmzeiten heraus: Ist der Winkel der Erdachse gering, so kommt es auf den Polen zu vermehrter Eisbildung, da die Pole von der Sonne weggeneigt liegen.

Derzeit beträgt der Winkel der Neigungsachse etwa $23,5^\circ$ und ist im Begriff weiter abzunehmen (Ruddiman, 2014).

Die Umlaufbahn der Erde um die Sonne ändert alle 100.000 bzw. 400 000 Jahre aufgrund der Anziehungskraft anderer Planeten ihre Form von „elliptisch“ zu „kreisförmiger“.

Die Erde bewegt sich auf einer elliptischen Bahn (Abb.11), wobei die Sonne auf einem Brennpunkt dieser Ellipse liegt und nicht auf dem Mittelpunkt, wie es bei einem Kreis der Fall wäre.

Wird die Erdbahn exzentrischer, umso mehr variiert der Abstand zwischen Erde und Sonne innerhalb eines Jahres (Fakultät für Physik, 2015).

Derzeit ist unsere Erdbahn leicht elliptisch geformt, wobei

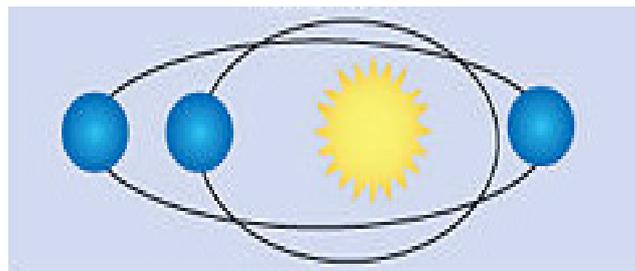


Abbildung 11: Änderung der Umlaufbahn der Erde (Zachos, 28.10.2015)

die Erde im Juli den größten Abstand zur Sonne aufweist (Aphelion) und im Jänner den geringsten (Perihelion).

Dies bedeutet, dass die Sonneneinstrahlung im Winter (Nordhalbkugel) auf die Erde höher ist als die im Sommer, weshalb klar wird, dass die Erdbahn im Gegensatz zur Lage der Erdachse keinen großen Einfluss auf die Jahreszeiten haben kann.

Als dritte Orbitaleigenschaft nannte Milancović die Präzessionsbewegung der Erdachse, die die Sonneneinstrahlung auf die Erde im Laufe von etwa 27 500 Jahren ändere.

Hierbei bleibt der Neigungswinkel der Erdachse konstant, jedoch vollführt die gesamte Erde neben ihrer Rotation zusätzlich eine Kreiselbewegung (Abb. 12).

Diese Präzessionskonstante wird von den Anziehungskräften der Sonne und des Mondes verändert.

Folgen dieser Präzessionsbewegung sind einerseits eine veränderte Sonneneinstrahlung und andererseits eine Umverteilung der Tag- und Nachtgleichen.

Auf der Nordhemisphäre findet jeweils am 21. Juni und am 21. Dezember die Sonnen-

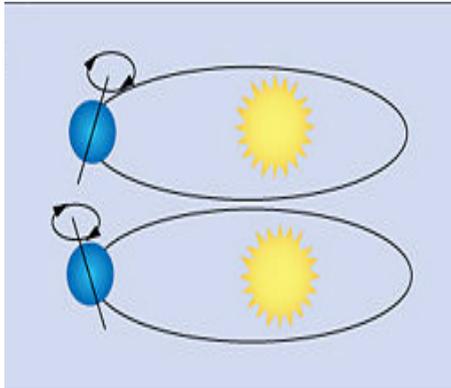


Abbildung 12: Änderung der Präzession der Erdatmosphäre (Zachos, 28.10.2015)

wende statt, wobei der 21. Juni jener Tag mit den meisten Sonnenstunden pro Tag im Jahr und der 21. Dezember jener Tag mit den wenigsten Sonnenstunden pro Tag im Jahr ist.

Am 19., 20. oder 21. März und am 22., 23. oder 24. September herrscht auf der Nordhemisphäre Tag- und Nachtgleiche.

Sowohl die Sonnenwenden als auch die Tag- und Nachtgleichen werden von der

Präzessionskonstante der Erde sowie von der Neigungsachse und von der Exzentrizität gesteuert und verändern somit die Sonneneinstrahlung innerhalb von 27 500 Jahren (Ruddiman, 2014).

In etwa 11 000 Jahren werden die Sonnenwenden auf den Hemisphären genau umgekehrt als heute stattfinden, und auch die Erdatmosphäre wird nicht mehr Richtung Polarstern stehen, da bis dahin die Kippbewegung der Erde wieder in die andere Richtung verlaufen wird (Ruddiman, 2014).

3.4.4.2. Auftreten der ersten Menschen auf der Nordhemisphäre im Pleistozän

Im Pleistozän, genauer gesagt vor ca. 70 000 Jahren, beginnt der *Homo sapiens* seine Heimat Afrika zu verlassen.

Zuerst führte sein Weg nach Asien, bis er etwa vor 40 000 Jahren über den Bosphorus Europa erreichte. Das vorherrschende Klima war zu dieser Zeit zwar etwa um 4 - 6 °C kälter als heute, jedoch mit milden Sommern und durchgehend frostigen Wintern relativ stabil.

Nachdem in der Würm-Kaltzeit Inlandgletscher auf der Nord-Hemisphäre immer weiter gewachsen waren, sank der Meeresspiegel um 130 m, was dazu führte, dass sich zwischen Amerika und Asien eine Landbrücke (Beringia) bildete.

Dies nutzte der *Homo sapiens* und besiedelte vor etwa 15 000 Jahren Amerika (Conard, 2001).

Während der Würm-Kaltzeit kam es zu über 24 sprunghaften Klimawechseln, den sogenannten Dansgaard-Oeschger-Ereignissen, wobei es gegen Ende des Pleistozäns noch einmal zu einer sehr kalten Phase - der Jüngerer Dryas - kam.

Die Dauer der Jüngerer Dryas ist mit etwa 1800 Jahren berechnet (12 700 - 10 500 Jahren v. h.), in der die Temperatur um etwa 7 °C niedriger war als heute.

Der vermutliche Auslöser dieses Kälteeinbruchs dürfte die Störung der thermohalinen Zirkulation gewesen sein, nachdem an der Ostküste Nordamerikas durch Abschmelzen des Laurentischen Eisschildes massenweise Süßwasser ins Meer gelangt war und dadurch der Golfstrom nicht mehr so weit nach Norden kam (Bubbenzer, 2015).

4. Klimaveränderungen im Holozän

Der grobe Überblick über den Klimaverlauf der Erdgeschichte bis zum Beginn des Holozäns zeigte viele Schwankungen, ohne dass der Mensch bis dato auf das Klima Einfluss genommen hatte.

Der Geowissenschaftler Sirocko (2013, S. 67) beschreibt diese Tatsache wie folgt:

„Jeder Klimaprozess hat eine andere Zeitskala- plattentektonische Bewegungen laufen über Millionen von Jahren, ein Vulkanausbruch kühlt nur über zwei Jahre. Das Ergebnis der Wechselwirkung zwischen den vielen Prozessen und ihren unterschiedlichen Zeitskalen schafft ein stabiles System, das eine natürliche Variabilität hat und hin und wieder sogar natürlich bedingte Extremzustände erreicht.“

Ebengenannte plattentektonische Bewegungen, Vulkanausbrüche, Orbitaleigenschaften, Meeresströmungen uvm. zeichnen sich in der Erdgeschichte als Verursacher von Klimaveränderungen ab.

Die bisherigen Kapitel sollten u. a. klarlegen, dass ein Klimafaktor allein meist nicht ausreichte, um grundlegende Klimaänderungen herbeizuführen; aber ein Faktor löste oft positive Rückkopplungseffekte aus, die das Klima in eine andere Richtung „trieben“. Somit ist bis zu dieser Stelle klar, dass es mit Sicherheit natürliche Faktoren gibt, die zu einer Warm- oder Kaltzeit führen können.

In den folgenden Kapiteln soll nun dargelegt werden, welche Rolle der Mensch seit seinem erstem Auftreten an der Klimaentwicklung hat, welche anthropogenen Faktoren sich auf das Klima auswirk(t)en und inwieweit der Mensch heutzutage überhaupt Einfluss auf das Klima nimmt. Diesbezüglich wird auf die wichtigsten Einflüsse und Ereignisse eingegangen werden.

4.1. Klimaoptima und Klimapessima

Nach Beginn des Holozäns vor etwa 11 700 Jahren nahm vor etwa 10 000 Jahren die Durchschnittstemperatur der Erde wieder zu und entsprach vor etwa 9 000 Jahren etwa unserer heutigen mittleren Temperatur von 15 °C.

Die Temperaturdifferenz zum kältesten Zeitpunkt der letzten Kaltzeit im Pleistozän (Jüngere Dryas) betrug somit etwa 7 °C.

Die Ursache für diesen Klimawandel lag in der Ausrichtung der Präzessionsachse und der Obliquität der Erdachse, die beispielsweise am 65. Breitengrad ein um 10 % größeres Einstrahlungsmaximum der Sonne verursachte (Bubenzer, 2015).

Jedoch wurde auch das Holozän von kälteren und wärmeren Phasen durchbrochen, die als Klimaoptima (durchschnittlich 1,5 °C wärmer) und Klimapessima (durchschnittlich 1,5 °C kälter) bezeichnet werden.

Das erste Klimaoptimum vollzog sich im Atlantikum zwischen 7700 und 4100 v. Chr., das zweite im Subboreal zwischen 2800 und 1800 v. Chr. (Abb.13).

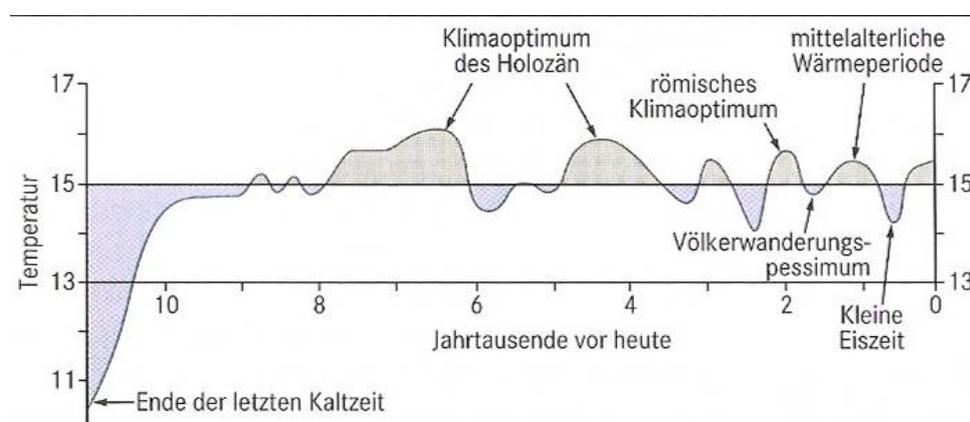


Abbildung 13: Klimaoptima/Klimapessima seit der letzten Kaltzeit bis heute (Kappas, 2009, S. 263)

Da die Temperatur im Holozän jedoch nicht mehr als 1,5 °C mehr oder weniger von der Durchschnittstemperatur abwich, wird das Holozän als ein Zeitalter mit sehr stabilem Klima angesehen.

4.2. Die ersten klimatischen Eingriffe des Menschen

Indem das Klima im Holozän wärmer, aber auch feuchter geworden war, breiteten sich die Wälder immer mehr nach Norden aus, während sich die Tundra immer mehr nach Norden zurückzog. Letzterer folgten auch immer mehr Großtiere, die den wärmeren Temperaturen nicht angepasst waren.

Es soll jedoch hierbei angemerkt werden, dass der Mensch oft selbst für die Ausrottung von Säugern, z.B. dem Mammut, in dieser Zeit verantwortlich gemacht wird (Overkill-Hypothese) (Ruddiman, 2014), wobei dieses „Problem“ nicht in dieser Arbeit diskutiert werden soll.

Seien nun die Tiere von selbst abgewandert oder wurden sie von Menschenhand ausgerottet: Fakt ist, dass dem Menschen nun ein wichtiger Bestandteil seiner Nahrung - das Fleisch - fehlte. Insofern war er gezwungen sich von pflanzlicher Nahrung zu ernähren, die er mit der Sesshaftwerdung und dem Ackerbau vermutlich ab 8000 v. Chr. im Vorderen Orient und ab 6000 v. Chr. in Europa anpflanzte.

Hierbei war dem Menschen das warme Klima zunutze geworden, wodurch Ackerbau überhaupt erst möglich geworden war.

Diese Folgen der Sesshaftwerdung treten in der Literatur zumeist als der erste mögliche menschliche Eingriff in das Klimageschehen auf (Behringer, 2007).

Den ersten möglichen anthropogenen Klimaeinfluss könnte man in der Benutzung von Feuer vermuten.

Die Verwendung von Feuer ist für über 1 Mio. Jahre vor heute gesichert und wird somit bereits dem *Homo erectus* zugeschrieben. Er machte sich das Feuer u. a. beim Kochen zunutze, was Feuerfundstellen in Höhlen belegen (Behringer, 2007).

Weitere Nutzungsformen des Feuers sind dem Menschen vor dem Holozän aufgrund fehlender bzw. nicht vorhandener Fundstücke bis heute schwer nachzuweisen.

Es scheint jedoch ziemlich sicher, dass das Ausmaß des Feueregebrauchs vor dem Holozän keine Auswirkungen auf das Klima hatte.

4.2.1. Ackerbau und Viehzucht

Wie bereits im vorigen Kapitel erwähnt, mehrte sich vor 8000 Jahren der Anbau von Getreide im Vorderen Orient, bis er dann vor etwa 6000 Jahren auch in Europa betrieben wurde.

Das relativ milde Klima (keine Hitze, keine langen Winter) und genügend Niederschläge begünstigten den Anbau von Getreide, Feldfrüchten uvm.

Durch die gute Ernährung kam es zu Bevölkerungswachstum (Schätzung der Bevölkerung am Beginn des Holozäns: ca. 5 Mio. Menschen), weshalb jedoch auch immer mehr Nahrungserwerb notwendig wurde.

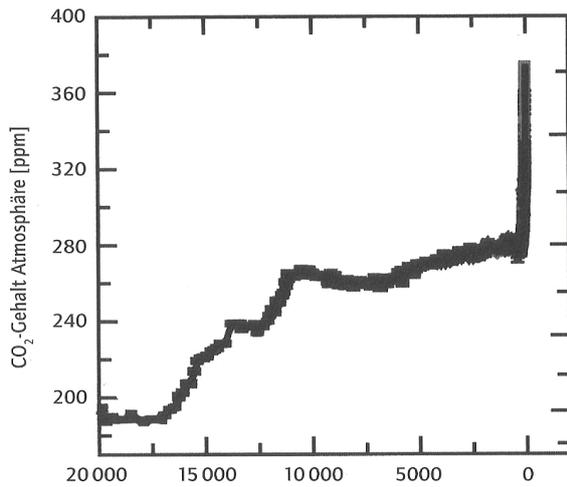


Abbildung 14: CO₂-Gehalt der letzten 20 000 Jahre (Sirocko, 2013, S. 14)

Da sich die Wälder im Klimaoptimum des Atlantikums stark ausgebreitet hatten, aber, wie eben beschrieben, auch der Nahrungsbedarf durch mehr Bevölkerung gewachsen war, mussten durch Rodungen weitere Ackerflächen geschaffen werden.

Das Niederbrennen der gewünschten Stellen hatte jedoch einen vermehrten CO₂-Ausstoß zur Folge.

Weiters wurden Getreidereste

verbrannt, wodurch die CO₂-Konzentration der Atmosphäre ebenfalls anstieg (Ruddiman, 2014) (Abb. 14). Aber auch „liegengelassenes/r“ Getreide und Reis (z.B. in China) trugen zu einer Erhöhung des Treibhausgases Methan bei, indem diese Ackerpflanzen im stehengebliebenen Wasser verfaulten und CH₄ freisetzten. (Abb. 15) Auch mit der Einführung von Rindern um 4300 v. Chr. nach Europa aus dem Nahen Osten, kamen weitere CH₄-Produzenten hinzu.

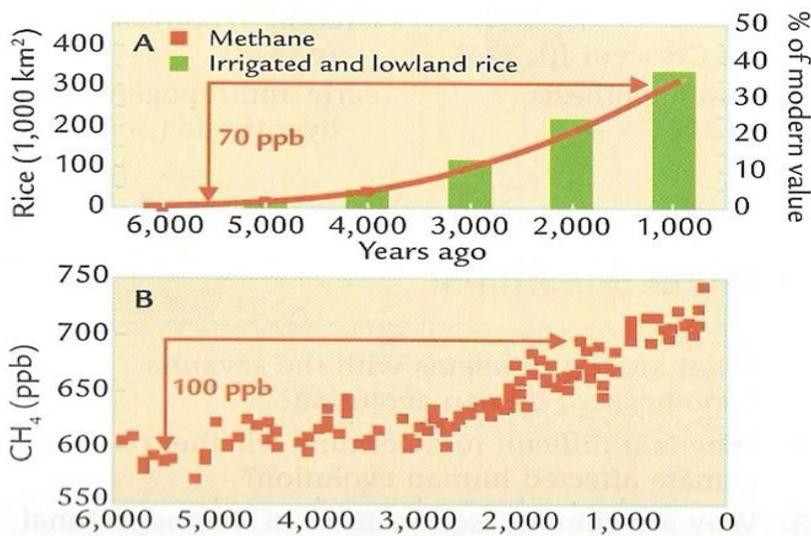


Abbildung 15: Methanentwicklung der letzten 6 000 Jahre (Ruddiman, 2014, S. 331)

Zwischen den ersten beiden Klimaoptima im Holozän, brach zwischen 4100 - 2800 v. Chr. ein Klimapessimum ein, das sich mit geringeren Niederschlägen und etwa 1,5 °C geringeren Temperaturen zeigte.

Obwohl die Treibhausgase - entstanden durch die Landwirtschaft - zwar zusehends zunahmen und somit eigentlich eine Erwärmung hervorrufen hätten müssen, kam es zum eben genannten Klimapessimum der Bronzezeit.

Möglicherweise hat die Steigerung der Treibhausgase eine stärkere Abkühlung in der Bronzezeit verhindert, die durch die abnehmende Sommerinsolation über die Nordhemisphäre der letzten 8 000 Jahrtausende zustande gekommen wäre (Ruddiman, 2014).

4.3. Römisches Optimum

Auch die Hochblüte der römischen Kultur hatte ein Klimaoptimum zwischen 300 v. Chr. bis 400 n. Chr. als Grundlage. Die Jahresmitteltemperatur lag bei etwa 16 °C, also etwa 0,5 °C - 1 °C mehr als heute, und zusätzlich dürften sich die damaligen Niederschläge positiv auf die Lebensbedingungen ausgewirkt haben.

Viele landwirtschaftliche Neuerungen traten zutage: Gartenbau mit Obst, Gemüse und Gewürzen, effiziente Wiesenwirtschaft und großflächiger Getreideanbau in Nordafrika. Zweierlei Faktoren hatten eine vermehrte Getreideproduktion notwendig gemacht: einerseits war die Bevölkerung zwischen 5000 v. Chr. (ca. 7 Mio. Menschen) bis zu Christi Geburt (ca. 200 - 300 Mio. Menschen) gestiegen (Abb. 16).

Andererseits musste auch das Militär mit genügend Nahrung versorgt werden, um militärische Erfolge „einfahren“ zu können (Sirocko, 2009).

So entstand die „Kornkammer“ des Römischen Reiches in Nordafrika, deren Überschussproduktion eine Grundlage für die Versorgung der Menschen war. Diese massenweise Produktion war nur aufgrund der Niederschläge möglich, wäre doch heutzutage eine derartige Getreideproduktion wegen der Trockenheit in Nordafrika nicht möglich.

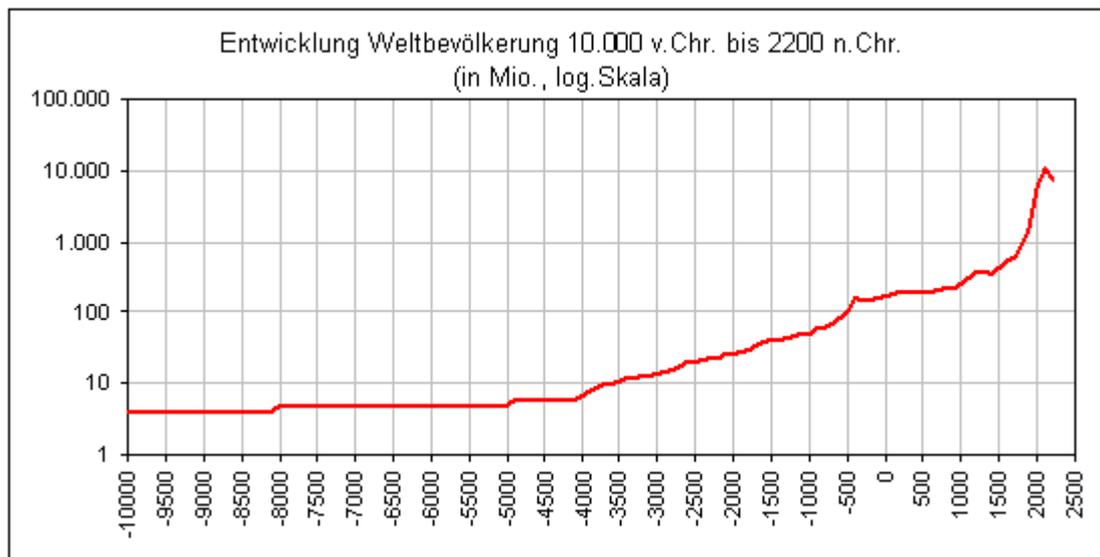


Abbildung 16: Entwicklung der Weltbevölkerung 10 000 v. Chr. bis 2 200 n. Chr. (United States Census Bureau, 3.1.2016)

Auch im Mittelmeerraum gab es im Sommer ein bis zwei Tage lang ergiebigen Regen, der einen besseren landwirtschaftlichen Ertrag als heute in diesem Gebiet lieferte (Kappas, 2009).

Hinzu kam der Bergbau in den Hochalpen, der genügend metallische Rohstoffe lieferte, um z. B. Kriegswaffen herzustellen.

Auch Holz wurde ein immer begehrterer Rohstoff, da er als Werkstoff, als Energielieferant, bei der Erzverhüttung und bei der Kalk-, Glas- und Keramikproduktion verwendet wurde. Auch der Gebrauch von Holzkohle nahm zu dieser Zeit zu.

All diese genannten Prozesse brachten zwar große kulturelle Vorstöße, jedoch wirkten sie sich auch sicherlich auf das Klima aus: Der stark angestiegenen Ackerbewirtschaftung fielen Wälder zum „Opfer“, die einen Verlust der natürlichen Kohlenstoffsinken in Form von Wäldern bedeuteten.

Zusätzlich führte die Verbrennung von Holz zu einer Erhöhung des CO₂-Gehalts (Abb. 14).

Weitere Treibhausgase, die zu einem erhöhten Treibhauseffekt geführt haben könnten, waren sowohl CH₄ durch Viehwirtschaft und Vergärung von überschüssigem Getreide als auch schwefelige Verbindungen bei der Metallverarbeitung (Behringer, 2007).

Mit Beginn des anschließenden Klima-Pessimums der Völkerwanderungszeit, hatten die Niederschläge stark abgenommen, was vermutlich auf Veränderungen der Nordatlantischen Oszillation zurückzuführen war.

In der Literatur lässt sich leider kaum etwas über die Gründe vom Einsetzen des Römischen Optimums bzw. von dessen Ende finden.

Allerdings lassen sich Vermutungen anstellen, die es möglich erscheinen lassen, dass sich Optima und Pessima durch die zuvor erwähnte verringerte Sonneneinstrahlung in den letzten 8 000 Jahren und durch den Ausstoß von Treibhausgasen abwechselten.

4.4. Die Kleine Eiszeit

Hatte zwischen 11. und 13. Jahrhundert noch das Mittelalterliche Klimaoptimum mit bis zu $0,5^{\circ}\text{C}$ mehr als heute ein Klima aufgezeigt, das sich durch warme Sommer und milde Winter charakterisiert hatte, setzte ab etwa 1400 die sogenannte „Kleine Eiszeit“ ein, die sich zuvor bereits durch eine „Klimaverschlechterung“ gezeigt hatte. Unter diese „Klimaverschlechterung“ fielen etwa immer wiederkehrende kühlere, regnerische Sommer, die zu Ernteausschlägen führten.

Zusätzlich hatte die Pest im 14. Jahrhundert einen großen Teil der Bevölkerung in den Tod gerissen (Rösener, 2010).

Die Kleine Eiszeit kann an dieser Stelle mit wissenschaftlichen Untersuchungen und Belegen gut verdeutlichen, dass auch während der menschlichen Existenz natürliche Klimafaktoren zu Klimaveränderungen führten.

Die Kleine Eiszeit zeigte eine Temperaturdifferenz von etwa 1°C zu heute.

Wie in Abb. 17 ersichtlich erfuhr die Kleine Eiszeit, die sich bis etwa 1830 ausdehnte, immer wieder Klimaschwankungen. Das Maunder-Minimum (1645 - 1715) gilt als kälteste Phase der Kleinen Eiszeit.

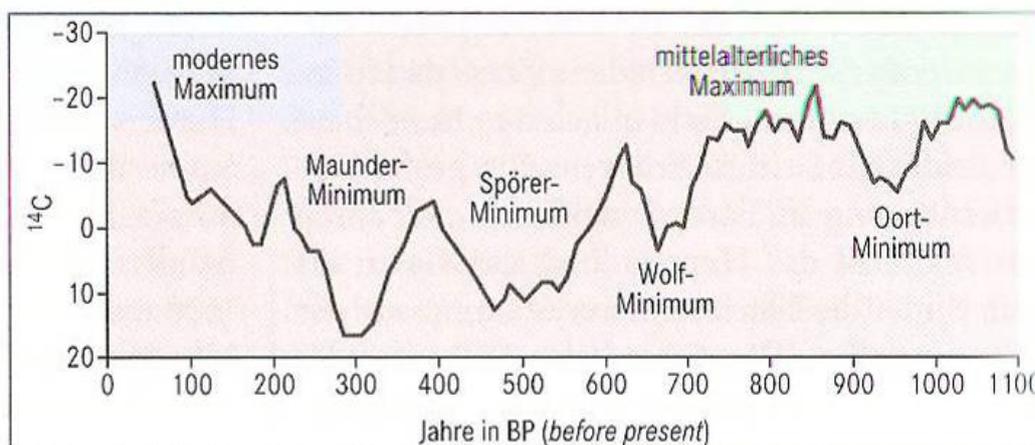


Abbildung 17: Sonnenfleckenminima und ^{14}C -Minima der letzten 1100 Jahre (Maxima von Sonnenflecken ergeben Minima der ^{14}C -Konzentration) (Kappas, 2009, S. 262)

Betrachtet man Verläufe der größten Minima der Kleinen Eiszeit wie Wolf-, Spörer-, Maunder-, und Dalton- (in Abb. 17) nicht namentlich gekennzeichnet) Minima, kommen mehrere Faktoren als Ursachen für die Klimaschwankungen in der Kleinen

Eiszeit in Frage. Diese Faktoren waren einerseits natürlichen Ursprungs andererseits vermutlich auch durch anthropogene Entwicklungen bedingt.

Natürliche Klimafaktoren zeigten sich durch die bereits erwähnten Veränderungen der Orbitaleigenschaften der Erde, den Sonnenfleckenzyklus (siehe Kap. 4.4.1.) und Vulkanausbrüche.

Die Orbitaleigenschaften allein führten in der Kleinen Eiszeit zu einer Abkühlung von $\sim 0,15$ °C bis $0,3$ °C, hingegen trug in manchen Jahren das Ausbleiben von Sonnenflecken mit etwa $0,11$ % zu einer weiteren Abkühlung bei (Ruddiman, 2014). Auch eine vermehrte Vulkanaktivität ließ die Temperaturen - zumindest für zwei bis drei Jahre nach dem Ausbruch - sinken.

Dies zeigte sich beispielsweise im Jahr 1816, dem Jahr „ohne Sommer“, in dem der Sommer kalt und verregnet war. Dem Jahr 1816 war ein mächtiger Vulkanausbruch (Tambora auf Indonesien) vorausgegangen.

Dieses Jahr „ohne Sommer“ ging mit Missernten auf der nördlichen Hemisphäre und deshalb mit einer der größten Hungersnöte im 19. Jhd. einher (Penna, 2010).

Aber auch der Mensch dürfte zum Teil zu den Abkühlungen beigetragen haben, indem Rodungen während der kleinen Eiszeit stark zurückgegangen waren und somit der Baumbestand wieder zunahm. Infolgedessen wurde wieder mehr CO₂ von den Bäumen gespeichert als zuvor.

Zusätzlich wurde CO₂ auch von den wieder vorrückenden Gletschern gespeichert, der Anteil war jedoch wesentlich geringer als bei den zuvor erwähnten Wäldern (Ruddiman, 2014).

Der Grund, weswegen die Rodungen bzw. der Bedarf an Holz abnahmen, lag darin, dass sich im 2. Jahrtausend Infektionskrankheiten wegen verstärkter Reisen bzw. Kriegszüge ausbreiteten. So starben etwa im Wolf-Minimum insgesamt 18 % der Weltbevölkerung in Folge von Pandemien in China und Europa.

Auch im Maunder-Minimum verloren ca. 15 % der Weltbevölkerung ihr Leben infolge von Krankheiten; 11 % davon starben in Amerika aufgrund eingeschleppter Krankheiten durch die Europäer, die ab Ende des 15. Jahrhunderts nach Amerika gekommen waren.

CO₂- und CH₄-Werte des Wolf- und Maunder-Minimums korrelieren mit obiger Behauptung: Sie sanken während dieser Klimaminima um max. 5 ppm im Wolf-Minimum bzw. um max. 10 ppm im Maunder- Minimum (Ruddiman, 2014).

4.4.1. Sonnenflecken

Bei Sonnenflecken handelt es sich um dunkel erscheinende Areale auf der Sonnenoberfläche, die um ca. 1500 °C kühler sind als der Rest der Sonne (6 000 °C). Die Ursachen derartiger Sonnenflecken liegen in Protuberanzen (Sonneneruptionen), bei denen Magnetfeldlinien aus dem Magnetfeld der Sonne herausragen. Diese Protuberanzen sind als schwarze Flecken auf der Sonne sichtbar.

Die Sonneneruptionen führen zu einer erhöhten Energieabstrahlung von etwa 0,1 %.

Sonnenfleckenmaxima, wie sie etwa alle 11 Jahre auftreten, bewirken durch vermehrte UV-Strahlung eine Erwärmung der Stratosphäre, die wiederum in der Troposphäre mit Luftdruckgebilden über dem nördlichen Atlantik einhergeht (Sirocko, 2013).

Sonnenfleckenminima bewirken in Mitteleuropa etwa sehr kalte Winter mit kalten Nordwinden. Derzeit (2016) befinden wir uns in einem Sonnenfleckenminimum (Wetter-Observer, 2016).

5. Menschliche Klimaeinflüsse

Obwohl sich die Wissenschaft bis heute auf keine Daten der ersten menschlichen Einflüsse auf das Klima festlegt, wurde anhand von Methan-Konzentrations-Messungen in Eisbohrkernen belegt, dass es zwischen 0 und 1000 n. Chr. zu einer 2 %igen Erhöhung des CH₄ kam.

Zwar werden diese Methan-Konzentrations-Änderungen dem Menschen zugeschrieben, jedoch scheint deren Wirkung auf das Klimageschehen (noch) nicht eindeutig geklärt.

Bis 1700 n. Chr. nahm dieser Wert wieder ab, da - wie in den vorigen Kapiteln bereits angemerkt - die Bevölkerungszahl und damit verbunden der Nahrungsbedarf stark gesunken waren. Das hatte einen Rückgang landwirtschaftlicher Tätigkeiten zufolge und somit auch der CH₄-Konzentrationen (Kappas, 2009).

Nachdem die Kleine Eiszeit etwa 1830 zu Ende war, kam es im Zuge der industriellen Revolution zu diversen Erfindungen, die zwar dem Menschen Vorteile verschafften, jedoch auch zu anthropogenen Klimaveränderungen führten, die in den folgenden Kapiteln näher dargebracht werden.

5.1. Entwicklungen ab der industriellen Revolution

Infolge der besseren klimatischen Bedingungen, die mit Ende der Eiszeit wieder eingetreten waren, begann auch die Anzahl der Menschen wieder zuzunehmen, die um 1800 das erste Mal die Ein-Milliarden-Marke überschritt. (Abb.17)

Der Bedarf an Nahrung war so groß wie nie zuvor und so kam die Erfindung des Kunstdüngers im Jahre 1860 gerade recht. Nach und nach wurden immer mehr chemische Fabriken eröffnet, die mit ihren Arbeitsplätzen mehr Menschen in die Städte lockten.

Die Verstädterung nahm zu, die Bevölkerungszahl stieg wegen des guten Nahrungsangebots und der medizinischen Versorgung. Folglich musste auch die Fleischversorgung der Menschen gesichert werden, indem Massentierhaltungen ihren Anfang fanden.

Mit der Erfindung der Dampfmaschine im 18. Jahrhundert und der Verwendung von Generatoren in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts war der Bedarf an Heizmaterialien, wie etwa Holz, Kohle, Erdöl und Erdgas, stark gestiegen (Ludwig, 2006).

Die soeben erwähnten wissenschaftlichen und technischen Fortschritte ergaben jedoch einen Anstieg der Treibhausgase (siehe Kapitel 5.2.). Durch die Herstellung und den Einsatz von Kunst- bzw. Naturdünger, durch Massentierhaltungen und vermehrten Getreideanbau (v. a. Reis) schnellte ab Beginn des 20. Jhdts. der CH_4 -Wert extrem in die Höhe (siehe Kapitel 5.2.2.).

Das Verheizen von Holz und fossilen Brennstoffen ging mit einem markanten CO_2 -Anstieg vonstatten (siehe Kapitel 5.2.1.).

5.2. Menschgemachte Treibhausgase

Die allgemeine Wirkungsweise der Treibhausgase auf das Klima wurde bereits in Kapitel 2.1.1. erläutert.

Im Folgenden sind jedoch nochmals die Treibhausgase in der Reihenfolge ihres Einflusses auf den natürlichen Treibhauseffekt angeordnet:

Wasserdampf, Kohlendioxid, Ozon, Stickstoffoxide (z.B. N_2O) und Methan (Fabian, 2002).

All diese Treibhausgase zusammen nehmen nur etwa 1 % der atmosphärischen Luftzusammensetzung (78 % Stickstoff, 21 % Sauerstoff, 1 % andere Gase) ein, jedoch regulieren sie zu einem großen Teil den Wärmehaushalt der Erde (Buggisch, 2001).

Seit Anfang der Industrialisierung greift der Mensch in den natürlichen Treibhauseffekt ein, indem er große Mengen an Treibhausgasen emittiert.

Treibhausgase haben verschiedene Treibhauspotentiale (siehe Kap. 5.2.2.) und eine unterschiedliche Verweildauer in der Atmosphäre.

Zu den langlebigen Treibhausgasen zählen etwa CO_2 , CH_4 und N_2O . Sie sind „chemisch stabil und verbleiben deshalb für Zeitspannen von Jahrzehnten bis Jahrhunderten in der Atmosphäre“ (Kappas, 2009).

Indem sie sich in der Atmosphäre rasch vermischen, haben sie eine globale Wirkung.

Kurzlebige Treibhausgase wie Schwefeldioxid oder Kohlenmonoxid sind

„chemisch reaktionsaktiv und werden im Allgemeinen durch natürliche Oxidationsprozesse in der Atmosphäre oder durch Auswaschung bei Niederschlag aus der Atmosphäre entfernt. Ihre Konzentration unterliegt deshalb hoher räumlicher und zeitlicher Variabilität“ (Kappas, 2009).

Wasserdampf agiert mit bis zu 60% zwar als wichtigstes natürliches Treibhausgas, jedoch wird Wasserdampf vom Menschen kaum aktiv produziert.

Eine anthropogene Quelle von Wasserdampf zeichnet sich zum Beispiel durch den Flugverkehr ab; jedoch ist die dabei entstehende Menge im Vergleich zu anderen Treibhausgasen sehr gering.

Allerdings kann der Mensch den Wasserdampf-Haushalt indirekt beeinflussen: Steigt die globale Temperatur, verdunstet mehr Wasser auf der Erde, wodurch sich der Wasserkreislauf intensiviert (Schinke et al., 2010).

Da die Atmosphäre jedoch nur einen gewissen Anteil an Wasserdampf aufnehmen kann und seine Konzentration deshalb im Vergleich zu den anderen erzeugten Treibhausgasen nicht so hoch ansteigen kann, wird der Wasserdampf im Weiteren nicht genauer behandelt.

5.2.1. Kohlendioxid

Kohlendioxid hat laut Schinke (2010) mit 50 % den Hauptanteil am anthropogen verursachten Treibhauseffekt.

CO₂ wird bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern (Kohle, Erdgas und Erdöl), bei Rodungen von Wäldern, bei industriellen Prozessen und auch durch den Verkehr freigesetzt (Schinke, 2010).

Wie in Abb. 18 ersichtlich verstärkte sich der CO₂-Anteil von 1750 – 2012 um 40 %. Dies entspricht insgesamt einem CO₂-Ausstoß von 545 Gt C in 262 Jahren, wobei etwas weniger als die Hälfte davon in der Atmosphäre verblieb. Die andere Hälfte verteilte sich zu mehr oder minder gleich großen Teilen auf die Ozeane und Böden bzw. Pflanzen (Deutsche IPCC Koordinierungsstelle, 2016).

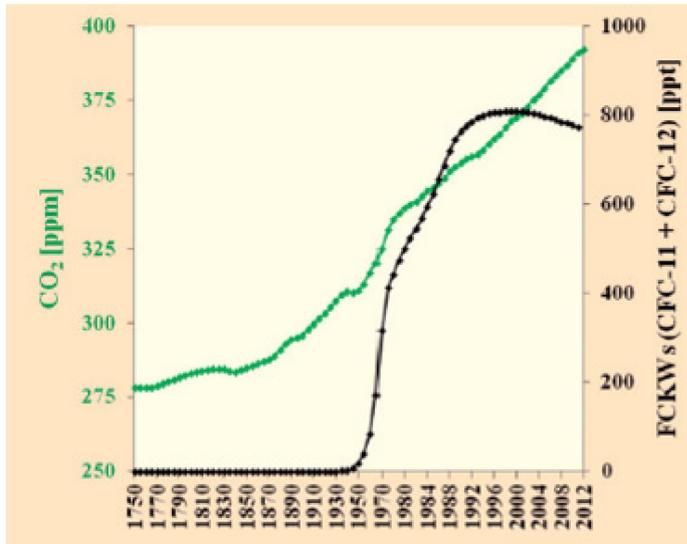


Abbildung 18: CO₂- und FCKW-Konzentrationen 1750 bis 2012 (Riener, 2014, S. 264)

Vergleicht man den CO₂-Anstieg zwischen 1750 – 2012 (262 Jahre) mit jenem Anstieg in den 8000 Jahren vor 1750 so zeigt sich auch hier nochmals die drastische CO₂-Zunahme seit dem Aufblühen der Industrie: innerhalb von 8000 Jahren vor 1750 stieg der CO₂-Wert um durchschnittlich 20 ppm, hingegen erhöhte er sich von 1750 – 2012 um etwa 200 ppm. (Abb. 14, Abb. 18)

Der CO₂-Gehalt der Atmosphäre im Jahre 2012 lag bei etwa 363 ppm.

Im biologischen Sinne sollte jedoch nicht darauf verzichtet werden, darauf hinzuweisen, dass u. a. die vermehrte Aufnahme des CO₂ durch Ozeane die natürlichen Stoffkreisläufe verändert: z. B. wird die Ozeanzirkulation verlangsamt oder der ozeanische pH-Wert nimmt ab (seit 1750 um 0,1), was wiederum Auswirkungen auf die Biodiversität hat.

Bedenkt man zusätzliche Rückkopplungsmechanismen, wie etwa eine weitere Erhöhung der Meerestemperaturen, so würde sich die Löslichkeit des CO₂ in den Ozeanen verringern und zu einer geringeren CO₂-Aufnahme der Ozeane führen. Dies könnte mit einem CO₂-Anstieg in der Atmosphäre einhergehen (Kappas, 2009).

5.2.2. Methan

Im Vergleich zur Verweildauer von CO₂ mit etwa 100 Jahren in der Atmosphäre scheint CH₄ mit einer Verweildauer von 10 – 15 Jahren dem ersten Anschein nach ein Treibhausgas mit weniger langfristigen Folgen zu sein. Jedoch ist das Treibhauspotential von Methan weitaus höher als jenes von CO₂, auch wenn es in geringeren Konzentrationen als CO₂ vorliegt (Abb. 19).

„Das Treibhauspotential ist ein relatives Maß, wie viel Wärmeenergie ein bestimmtes Treibhausgas X im Vergleich zur gleichen Masse [kg] CO₂ in der Atmosphäre „einfangen“ kann. [...]

Die teilweise bedeutend größeren Treibhauspotentiale von CH₄, N₂O und FCKWs im Vergleich zu CO₂ machen klar, warum die Konzentrationen dieser Gase um Potenzen geringer sein können und trotzdem in ähnlichen Anteilen am Treibhauseffekt resultieren.“ (Riener, 2014, S. 264f.).

Der Vergleich wird deshalb mit CO₂ angestellt, weil es die geringste spezifische Treibhauswirkung hat (Küll, 2009).

Der Abbau von CH₄ erfolgt in der Atmosphäre, indem es mit OH reagiert. Bei dieser Oxidation werden jedoch CO, CO₂ und H₂ gebildet, die ebenfalls eine Erhöhung des Treibhauseffektes mit sich ziehen (Fabian, 2002).

Verbindung	Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt	Verweildauer in Jahren	Treibhauspotential		
			20 Jahre	100 Jahre	500 Jahre
CO ₂	50%	100	1	1	1
CH ₄	29%	10	62	25	8
N ₂ O	5%	120	290	320	180
CFC-12	5%*	102	7.900	8.500	4.200
* Bezogen auf die Summe aller FCKWs.					

Abbildung 19: Wichtige Treibhausgase (Riener, 2014, S. 265)

Als Vergleich nehme man aus Abb. 19 das Treibhauspotential von 100 Jahren zwischen CO₂ und CH₄. So wirkt sich CH₄ innerhalb von 100 Jahren 25 Mal stärker auf den Treibhauseffekt aus als CO₂.

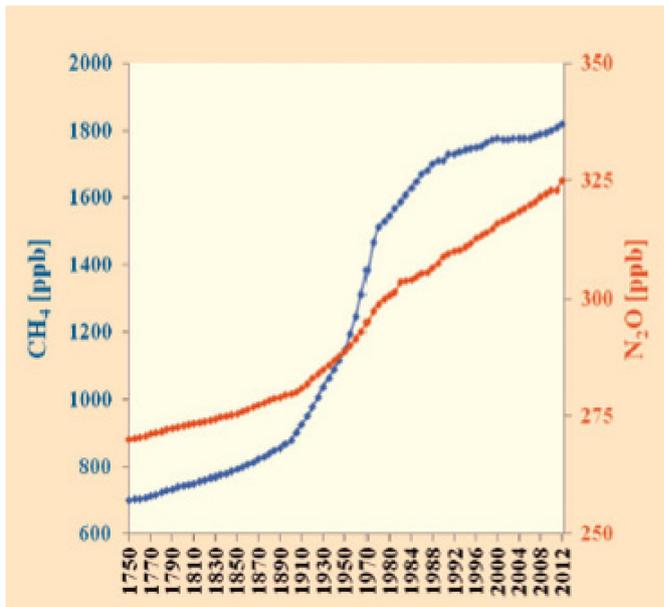


Abbildung 20: CH₄- und N₂O-Konzentrationen 1750 bis 2012 (Riener, 2014, S. 264)

Seit 1750 hat sich der CH₄-Wert um 150 % gesteigert (von etwa 700 ppb auf 1800 ppb), wobei sich der Anstieg seit den 1980ern im Vergleich zum vorigen Jahrhundert verlangsamt hat (Abb. 20).

Methan entsteht, wenn organisches Material unter Luftabschluss zersetzt wird. Dies kann einerseits auf natürlichem Wege geschehen, so etwa in Mooregebieten, Mangrovenwäldern, Termitenbauten und in Mägen von Wiederkäuern. Auch die Speicherung von Methan in Form von Methanhydrat in Ozeanen und Permafrostböden kann zu einer Belastung des Klimas führen, wenn dieses Methanhydrat durch höhere Temperaturen als Methangas wieder frei wird (Kappas, 2009).

Während die natürlichen Methanemissionen etwa 40 % des gesamten CH₄-Ausstoßes ausmachen, fällt der Rest (60 %) auf menschliche Aktivitäten zurück.

Hierzu zählen etwa die Nassreis-Landwirtschaft, Massentierhaltung und Mülldeponien, deren Notwendigkeit jedoch noch durch die zunehmende Weltbevölkerung – im Jahr 2015: ca. 7,3 Mrd. Menschen, Schätzung für das Jahr 2100: ca. 10 Mrd. – steigen wird. Um diesem CH₄-Anstieg in Zukunft entgegenwirken zu können, wäre eine 8 %ige Reduktion der anthropogen verursachten Methan-Emissionen nötig, die nach Houghton (2009) folgendermaßen eingespart werden könnten:

Minimierung der Waldrodungen (Abbrennen),
mehr Recycling bzw. Nutzung der Verbrennungsenergie von Müllhalden,

Verminderung der Gaslecks von Pipelines,
Verminderung der Rindfleischkonsumation, Verbesserungen beim Reisanbau.

Derartige Rechnungen, um Emissionen zu minimieren, lassen sich in der Literatur sehr häufig finden und mögen zum Teil auch leicht umsetzbar erscheinen, jedoch sind solche Verbesserungen gerade in Entwicklungsländern aufgrund finanzieller Defizite meist schwer bis kaum in absehbarer Zeit umsetzbar.

5.2.2.1. Methanerzeugung durch Rinder

Insgesamt nimmt die Tierhaltung den größten Teil des gesamten menschlich erzeugten Methans ein, dicht gefolgt vom Nassreisanbau. Beide zusammen ergeben mehr als die Hälfte des anthropogen erzeugten Methans.

Im Folgenden soll kurz darüber berichtet werden, wie sehr sich bestimmte Haltungsformen von Rindern positiver/negativer auf ihre CH₄-Emissionswerte auswirken. Denn nicht nur die weltweite Anzahl, sondern auch ihre Arbeitsleistung wirken sich auf den Methan-Ausstoß aus: Hochleistungskühe produzieren etwa 400 g CH₄ pro Tag, hingegen „eine Kuh mit relativ geringer Leistung und geringem Futterverbrauch (...) nur 80 g“ Methan erzeugt (Aigner, 2015, S. 70 ff.).

Auch die Nahrung spielt eine große Rolle: Hochleistungskühe und –rinder werden z. B. mit Mais, Soja und Getreide gefüttert, obwohl sie sich natürlicherweise hauptsächlich von Gras ernähren würden, das für Rinder einerseits besser verdaulich ist und somit weniger CH₄ und andere Treibhausgase (z. B. CO₂ oder Stickoxide) freisetzt; andererseits benötigen Futtermittel wie Mais, Soja oder Getreide große Anbauflächen, viel Wasser und Düngemittel, die wiederum zu einem größeren N₂O-Ausstoß führen. Zusätzlich muss noch der Transport des Futters bis zur Kuh eingerechnet werden, der ebenfalls die CO₂-Produktion erhöht (Aigner, 2015).

2014 betrug der Pro-Kopf-Verbrauch von Rindfleisch in Österreich 11,5 kg/Jahr, was etwa 1/6 des Gesamtkonsums von Fleisch eines Österreicherers entspricht (Ama-Marketing, 2016).

Würde der Fleischkonsum weltweit wie in den letzten Jahrzehnten ansteigen, müsste sich die Fleischproduktion bis 2050 verdoppeln.

5.2.3. Distickstoffoxid

Distickstoffoxid, auch unter dem Begriff „Lachgas“ bekannt, wird an dieser Stelle als wichtigstes Treibhausgas unter den Stickstoffoxiden hervorgehoben.

Sein Emissionsanstieg beträgt etwa 20 % seit 1750 (Abb. 20), was im Vergleich zu CO₂ oder CH₄ gering erscheinen mag.

Blickt man jedoch auf Abbildung 19, so wird deutlich, dass N₂O einerseits eine hohe Verweildauer mit 120 Jahren in der Atmosphäre hat und andererseits ein 320 Mal stärkeres Treibhauspotential (in 100 Jahren) als CO₂ aufweist.

Die Entstehung von NO₂ verteilt sich etwa 1:1 auf natürliche und anthropogene Quellen. Hauptproduzenten seitens des Menschen sind etwa Brandrodung, Biomasseverbrennung, Fäkalien, Stickstoffdünger, Katalysatoren uvm.

In Folge des Stickstoffkreislaufs (Kapitel 2.4.3.2.) wird auf natürlichem Wege Distickstoffoxid frei. Zusätzlich agieren auch die Ozeane als N₂O-Quellen, z. B. durch Zersetzung toter Organismen oder Exkremete. (Fabian, 2002)

5.2.4. Fluorchlorkohlenwasserstoffe

Fluorchlorkohlenwasserstoffe kamen etwa erst ab 1950 durch menschliche Herstellung in Gebrauch: sie dienten als Treibmittel in Sprühdosen, bei der Hartschaumstoff-Herstellung und als Kühlmittel in Kühlaggregaten (Mortimer, 2010).

Im letzten Jahrzehnt des 20. Jhdts wurde ein Rekordwert von 800 ppt ermittelt (Abb. 18).

Gerade das vorhandene Chlor in FCKW erweist sich als wahrer „Ozonkiller“, da es in der Stratosphäre unter Anwesenheit von UV-Strahlen mit Sauerstoffmolekülen Verbindungen eingeht (z. B. ClO). Im Falle von Ozon (O₃) wird dies dabei abgebaut (Kappas, 2009).

Mit Auftreten des jährlichen Ozonlochs über der Antarktis, das bewiesenermaßen u. a. durch FCKW verursacht wird, beschloss man 1987 im Zuge des Montrealer Protokolls die Halbierung von FCKW bis zum Jahre 1999; im Jahre 1990 wurde im Zuge der

Umweltkonferenz in London beschlossen, die FCKW-Verwendung binnen 10 Jahren völlig einzustellen (Spektrum, 2016).

Am Beispiel von CFC-12 (Dichlordifluormethan) wird in Abb. 19 jedoch verdeutlicht, dass FCKW den größten Effekt unter den Treibhausgasen aufweisen, da sie sich 8 500 Mal stärker als CO₂ auf den Treibhauseffekt auswirken. Zusätzlich ist auch ihre Verweildauer in der Atmosphäre von gut 100 Jahren nicht zu unterschätzen.

Die FCKW-Werte begannen erst ab 2000 tendenziell zu sinken und haben seitdem um etwa 5 % abgenommen. Letzteres zeigt sich etwa am langsamen Rückgang des Ozonlochs über der Antarktis in den letzten Jahren.

Wissenschaftlichen Berechnungen zufolge könnte sich das Ozonloch über der Antarktis erst 2070 wieder vollständig schließen (Spektrum, 2016).

5.3. Weitere menschliche Einflussfaktoren

In den vorigen Kapiteln wurden in Form der Treibhausgase bereits wichtige anthropogene Einflussfaktoren auf das Klima besprochen, jedoch sollen anschließend noch weitere menschliche Klimafaktoren der letzten Jahrzehnte genannt werden.

Grundvoraussetzung für das Verständnis des massiven Anstiegs der menschlichen Klimaeingriffe in den letzten 200 Jahren ist das Wissen um die demographische Entwicklung in dieser Zeit.

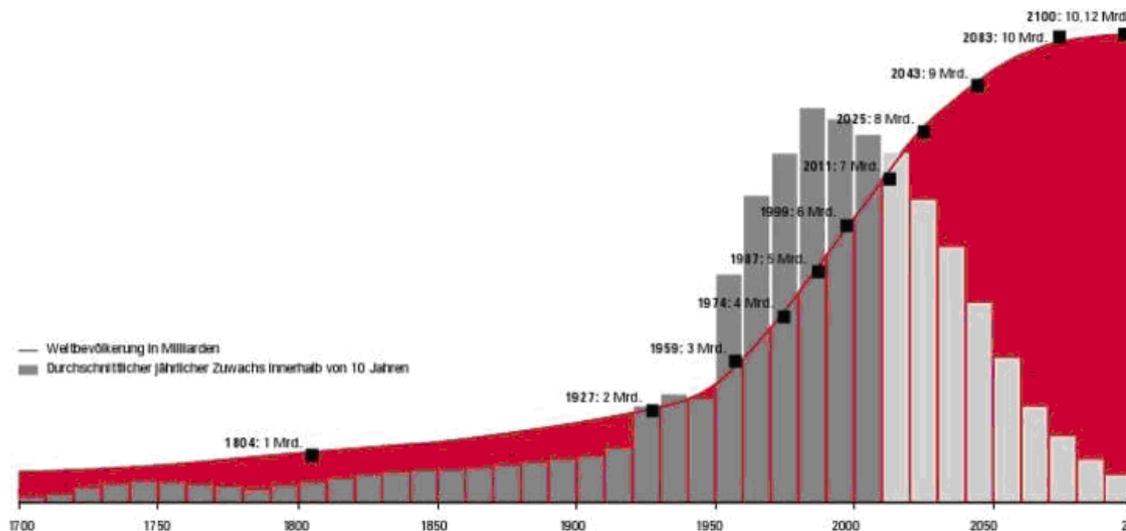


Abbildung 21: Demographische Entwicklung 1700 bis 2100 (Stiftung Weltbevölkerung, 10.1.2016)

So zeigt Abbildung 21 die historische Entwicklung der Weltbevölkerung, die das Wachstum seit dem Boom der Industrielandschaft im 19. Jhd. widerspiegelt. Aber v. a. der wirtschaftliche Aufwärtstrend nach dem 2. Weltkrieg schlug sich ab etwa 1960 in der Bevölkerungsentwicklung stark nieder: gab es, im Vergleich zu heute mit 7,4 Mrd. Menschen, um 1960 etwa 3 Mrd. Menschen auf der Erde, erfolgte danach innerhalb von gut 55 Jahren ein Bevölkerungszuwachs von ca. 145 %.

Eine Schätzung der Weltbevölkerung bis 2100 verweist auf einen weiteren Anstieg auf etwa 10 – 11 Mrd. Menschen, wobei ab 2050 mit einer geringeren Zuwachsrate gerechnet wird bis die Bevölkerungszahl um 2100 stagnieren wird. Letzteres wird mit der Ausgewogenheit zwischen Sterbe- und Geburtenrate zu diesem Zeitpunkt begründet (Kappas, 2009).

Erst durch dieses Bevölkerungswachstum ergaben sich drastische menschliche Klimaengriffe. Hierzu zählen etwa die Ausweitung von Ackerflächen, um genügend Nahrung produzieren zu können, der Auf- und Ausbau von Großstädten mit all seinen Folgen wie etwa der Asphaltierung von Landflächen und der damit einhergehenden verminderten Wasseraufnahme des Bodens.

Hinzu kommen noch beispielsweise der Gebrauch diverser Verkehrsmittel, der Hausbrand oder die Produktion von Konsumgütern in Fabriken, die allesamt den Ausstoß von Treibhausgasen induzieren.

5.3.1. Aerosolfreisetzung

Bereits in Kapitel 2.1.2. wurde auf die Wirkung der Aerosole verwiesen. Sie sollen an dieser Stelle jedoch nicht unerwähnt bleiben, da Aerosole zum größten Teil vom Menschen produziert werden.

Die Problematik der hohen Aerosolausschüttung zeigte sich erst wieder Ende des Jahres 2015 in den Medien: Peking hatte die höchste Warnstufe bzgl. stark erhöhter Smog-Werte ausgerufen ($600 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Laut WHO sollte ein Wert von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pro Tag nicht überschritten werden.

Diese hohen Werte wurden u. a. durch Kohlekraftwerke, Industrieanlagen und Autoverkehr verursacht.

Als Smog wird jener Dunst bezeichnet, der sich aus unterschiedlichen Schadstoffen, wie z. B. Schwefeldioxid, Ozon, Kohlenwasserstoffen, Stickoxiden und Aerosolen (Feinstaub), zusammensetzt (Mudur, 2010).

Einerseits verursacht Smog Erkrankungen, wie z. B. Herzkreislauf- und Atemwegserkrankungen oder Krebs, andererseits führt Smog, wie bereits in 2.1.2. ausgeführt, zu einer Abkühlung der Erdoberfläche.

Smog ist jedoch nicht nur ein großes Problem von China.

Weltweit gibt es jährlich Warnungen über zu hohe Luftverschmutzung, v. a. in Großstädten oder Industriegebieten.

Bereits im 19. Jahrhundert zeigten sich die Folgen von massenhafter Verbrennung fossiler Energieträger (in diesem Falle Kohle) in Form von Smog in London.

Die sogenannte „Londoner Erbsensuppe“ war durch die Emission von Schwefeldioxid und Ruß entstanden. Neben einer Verringerung von Verbrennung schwefelhaltiger Kohle, wurden Schornsteine weiter in die Höhe gebaut, um so der Smog-Bildung Einhalt zu gebieten. Zwar nahm der Smog durch diese Maßnahmen ab, jedoch wurde durch die höher erbauten Schornsteine das Problem der Luftverschmutzung nicht gelöst sondern nur in höhere „Sphären“ verschoben (Fabian, 2002).

Auch heute noch werden Schornsteine höher gebaut.

Diese Maßnahme trägt jedoch zur Verstärkung der Bildung des „sauren“ Regens bei, der sich wiederum auf die Ökosysteme der Böden, Flüsse und Binnenseen auswirkt: Versauerung des Bodens geht mit Auswaschen von Nährstoffen oder auch Metallen einher, wobei letztere zur Vergiftung des Grundwassers usw. führen (Fabian, 2002).

5.3.2. Veränderung der Landoberfläche

Diverse Veränderungen der Landoberfläche haben Einfluss auf die Klimaentwicklung: Flächenversiegelungen, Bodenerosion durch fehlerhafte landwirtschaftliche Nutzung, die Einbringung von Fremd- und Schadstoffen und die (Brand-) Rodung von Wäldern.

Gerade die Ressource „Boden“ ist in viele bio-geo-chemische Kreisläufe eingebunden, weshalb Auswirkungen auf den Boden nicht auf diesen allein beschränkt bleiben.

So beeinflussen nicht nur Dünger den Boden, indem sie die natürlichen Abläufe im Boden verändern, sondern auch Schadstoffemissionen, die hauptsächlich über Niederschläge in den Boden gelangen.

Wenn jedoch der Boden nicht mehr imstande ist, Pflanzen, i. B. Bäume, mit ausreichend Wasser und Nährstoffen zu versorgen, nimmt der Pflanzenbestand ab, der als natürliche Kohlenstoffspeicher agieren würde (Gerth, 1992).

Einen großen Anteil am Klimageschehen haben auch Waldrodungen. Die Gründe für die Abholzung der Wälder mag einerseits die Schaffung von Ackerflächen und Brennholz sein, andererseits stellen gerade tropische Gehölze ein Luxusgut in der heutigen Welt dar, das sich um viel Geld verkaufen lässt.

Ein Drittel unserer Landoberfläche ist mit Wald bedeckt. Davon wurde in den 1990ern etwa 1,8 % abgeholzt. Im Vergleich dazu gingen 0,6 % der weltweiten Waldbedeckung wegen natürlicher Ursachen zugrunde.

In Folge globaler Bestimmungen zum Schutz der Wälder nahmen Rodungen seit den 1990ern zwar um 1,4 % ab, jedoch wird heutzutage pro Jahr noch immer 1 % des tropischen Regenwalds abgeholzt (Houghton, 2009).

Infolge von Rodungen tritt eine erhöhte Albedo ein, da die Wälder zuvor dunklere Flächen als die später gerodeten darstellen.

Gerade im tropischen und subtropischen Raum spielt aber auch die Transpiration der Bäume eine große Rolle, da gerade Regenwälder wegen ihrer hohen Umgebungstemperatur große Mengen an Wasser abgeben, das somit wieder in die Atmosphäre und über Regen in den Boden gelangt.

Aber auch der Kohlenstoffkreislauf wird durch Rodungen beeinflusst. Einerseits steigt durch Brandrodungen der CO₂-Wert direkt an, andererseits entfällt durch die Rodungen die wichtigste Kohlenstoffspeicher. Insgesamt macht die Entwaldung etwa 20 % der anthropogenen CO₂-Emissionen aus (Houghton, 2014).

5.4. Rezente Folgen anthropogener Klimaeinflüsse auf das Klimasystem

In Folge der bisher angeführten von Menschen verursachten Klimaeinflüsse zeigen sich seit einigen Jahrzehnten Änderungen des Klimas, die zum Großteil menschlichen Ursachen zugeschrieben werden.

Zusammenfassungen von wissenschaftlichen Fakten über globale Klimaveränderungen, deren Auswirkungen, Ursprünge uvm. werden alle paar Jahre - zuletzt 2013/2014 - im IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change)-Bericht zusammengetragen. Diese Berichte dienen Politikern als wissenschaftliche Grundlage für Entscheidungen, die die Klimapolitik betreffen.

So wurden auch im 5. Sachstandsbericht (2013/2014) des IPCC (2016) wieder vielfältige Beobachtungsdaten festgeschrieben.

Davon sollen hier überblicksmäßig die wichtigsten Klimaänderungen und deren anthropogene Anteile angeführt werden:

Mittlere globale Erdoberflächentemperatur: Zunahme um 0,85 °C von 1880 bis 2012

Ozeantemperatur: Erhöhung der Temperaturen sowohl im oberen als auch tieferen Ozean; die oberen 75 m erwärmten sich zwischen 1971 und 2010 durchschnittlich um 0,11 °C/Dekade.

Meeresspiegelanstieg um 19 cm zwischen 1901 und 2010, wobei er in den letzten 20 Jahren doppelt so viel pro Jahr anstieg als in den Jahren zuvor.

Die Hauptgründe für den Anstieg liegen etwa in der thermischen Ausdehnung der Ozeane wegen der Erwärmung und im Wassereintrag durch das Abschmelzen der Gletscher und des grönländischen Eisschildes.

Zunahme der **Ozeanversauerung** seit 1750 durch erhöhte Aufnahme des vom Menschen emittierten CO₂ um den pH-Wert 0,1.

Schmelzvorgang der Gletscher und der arktischen Eiskappe:

Zum Beispiel schmolz zwischen 2002 und 2011 etwa sechs Mal so viel Grönlandeis als in den 10 Jahren zuvor.

Niederschlagsentwicklung 1950 bis 2008:

Zunahme der Niederschläge „in feuchten Regionen der Tropen und in mittleren Breiten der Nordhalbkugel“, Abnahme der Niederschläge in trockenen Regionen der Subtropen.

Wetterextreme seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts:

Verringerung der kalten Tage und Nächte, Anstieg der warmen Tage/Nächte, mehr Hitzewellen in Europa, Asien und Australien.

Zunahme und Intensivierung der Starkregenereignisse in Nordamerika und Europa.

Anstieg der wichtigsten **Treibhausgase** (Stand 2011):

CO₂, CH₄ und N₂O stiegen jeweils um etwa 40 %, 150 % sowie 20 % im vorindustriellen Vergleich.

Hinzu kommt, dass bei der Betrachtung der CO₂-Fluktuationen im Laufe der Erdgeschichte klar wird (Abb. 14), dass ein derart hoher CO₂-Wert von heute - Dez 2015: ca. 402 ppm, Station: Mauna Loa (Earth System Research Laboratory, 2016) - zumindest in den letzten 800 000 Jahren nicht vorkam.

Die Verbrennung fossiler Brennstoffe bzw. die Zementproduktion und anthropogene Landnutzungsänderungen zählten im Verhältnis 9:1 zu den größten CO₂-Emissionsproduzenten (IPCC, 2016).

Im 5. IPPC-Bericht wird die Rolle des Menschen in Bezug auf die Klimaerwärmung folgendermaßen eingeschätzt: Anthropogene Klimafaktoren, vorwiegend die Treibhausgasemissionen, gelten als Hauptursache für die Erhöhung der mittleren globalen Oberflächentemperatur.

Hierbei vermuten Experten, dass zwischen 1951 und 2010 die Treibhausgase zu einer Erwärmung von 0,5 °C bis 1,3 °C bzw. die anthropogenen Aerosole zu einer Abkühlung von bis zu -0,6 °C geführt haben.

Natürlichen Antrieben und internen Schwankungen werden jeweils nur etwa -0,1 °C bis 0,1 °C an der globalen Temperaturveränderung zugeschrieben (IPCC, 2016).

Daraus lässt sich folgern, dass der Mensch einerseits als Hauptverursacher der Klimaerwärmung seit der Industrialisierung gilt, und andererseits durch das Emittieren von Aerosolen eine zusätzliche Erwärmung verlangsamt oder verhindert haben könnte (IPCC, 2016).

Auch die Aufteilung der verschiedenen anthropogenen und natürlichen Faktoren bezogen auf den Strahlungsantrieb weist eindeutig darauf hin, dass menschliche Handlungen zu einem positiven Strahlungsantrieb, also einer Erwärmung, geführt haben.

Der anthropogene Strahlungsantrieb 2011 bezogen auf 1750 beläuft sich insgesamt auf $2,21 \text{ W/m}^2$, wobei er sich folgendermaßen verteilt (IPCC; 2016):

- CO_2 : $1,68 \text{ W/m}^2$
- CH_4 : $0,97 \text{ W/m}^2$
- Halogenkohlenwasserstoffe: $0,18 \text{ W/m}^2$
- N_2O : $0,17 \text{ W/m}^2$
- weitere Treibhausgase: $0,33 \text{ W/m}^2$
- Aerosole inkl. Wolkenanpassungen durch Aerosole: $-0,82 \text{ W/m}^2$
- Veränderungen der Albedo aufgrund von Landnutzung: $-0,15 \text{ W/m}^2$
- Stickoxide: $-0,15 \text{ W/m}^2$

Im Vergleich dazu wirkten sich Vulkanausbrüche im Jahr 2011 ($-0,11 \text{ W/m}^2$) und die Sonnenstrahlung ($0,05 \text{ W/m}^2$) nur minimal auf den Strahlungsantrieb aus.

Betrachtet man die Entwicklung der Strahlungswerte von 1745 bis 2008, schwanken die Werte durchschnittlich zwischen $0,05 - 0,3 \text{ W/m}^2$. Im Vergleich dazu liegen die Werte des anthropogenen Strahlungsantriebs bei $2,3 \text{ W/m}^2$ (IPCC, 2016).

6. Die heutige Klimaerwärmung im Vergleich zu historischen Klimawandel

Da in den vorherigen Kapiteln die klimatischen Veränderungen im Laufe der Erdgeschichte chronologisch abgehandelt wurden und auch natürliche und anthropogene Einflussfaktoren aufgedeckt wurden, soll abschließend noch einmal ein Vergleich der diversen Klimaveränderungen vollzogen werden.

Die klimatischen Änderungen, die sich bis zum Holozän abgespielt haben, zeichneten sich zweifellos durch weitaus stärkere Effekte aus, als dies in der Gegenwart der Fall sein mag.

Die globale Mitteltemperatur an der Perm-Trias-Grenze von etwa 22-23 °C übertrifft die heutige globale Mitteltemperatur um gut 7 °C.

Die höchste Durchschnittstemperatur des Eozän-Klimaoptimums, das wohl 200 000 Jahre andauert hat, erreichte vermutlich 12 °C mehr als die heutige.

Solche Zahlen lassen somit heutzutage den Eindruck erwecken, dass „unsere“ Diskussionen über die Klimaerwärmung um etwa 0,85 °C bzw. einen CO₂-Anstieg um 130 ppm seit 1750 lächerlich seien. Schließlich gibt es bis dato nur „wenige“ für den Menschen lebensbedrohliche Zustände durch Klimaveränderungen, die ihn möglicherweise eher zu einem Umdenken bezüglich eines klimaschonenden Verhaltens führen würden.

Jedoch darf nicht darüber hinweggesehen werden, dass in der Erdgeschichte unterschiedliche Ausgangsbedingungen geherrscht haben, die direkt oder indirekt Klimawandel induziert haben.

So ließ etwa der Einfluss der Landpflanzen, i. B. deren Photosynthese, die erstmals im Silur auftraten, den CO₂-Gehalt der Atmosphäre in der Mitte des Devons bis in die Mitte des Karbons von 4000 ppm auf 300 ppm und folglich auch die globale Durchschnittstemperatur um 10 °C sinken.

Jedoch nahm dieser Vorgang durchschnittlich 100 Millionen Jahre in Anspruch und wurde auch von weiteren Klimafaktoren, wie etwa plattentektonischen Veränderungen auf die wiederum Änderungen der Meeresströmungen folgten, beeinflusst.

Auch die Länge der Zeitskalen müssen hier in Betracht gezogen werden: wurde gerade von einem Klimawandel innerhalb von 100 Millionen „gesprochen“, so vollzog sich

beispielsweise der Temperatursturz um 1,5 °C vom ersten Klimaoptimum des Holozäns zum Klimapessimum der Bronzezeit in gut 200 Jahren – wohl aufgrund abnehmender Sommerinsolation über der Nordhemisphäre.

Die seit etwa 130 Jahren angestiegene Mitteltemperatur um 0,85 °C ist im Vergleich hauptsächlich auf anthropogene Ursachen zurückzuführen.

Laut des 5. IPCC-Berichts würde sich die globale Mitteltemperatur um 1,7 - 5,4 °C bis zur Jahrhundertwende erhöhen, wenn die derzeitigen Emissionswerte stagnieren oder gar ansteigen würden. Ausgehend von diesem Temperaturanstieg wäre mit zahlreichen Folgen zu rechnen, die sich auch auf die Menschheit drastisch auswirken könnten: obwohl bis 2100 bereits mit einem Meeresspiegelanstieg zwischen 26 bis 55 cm zu rechnen ist, könnte sich dieser auf bis zu 82 cm erhöhen, wenn es zu einer weiteren Erhöhung der Treibhausgase kommt (IPCC, 2016).

Letzteres Szenario soll sich nicht einstellen, wenn Politiker die im Jahr 2015 beim Weltklimagipfel in Paris beschlossenen Maßnahmen umsetzen und so sollte es „nur“ auf eine maximale Erwärmung von 1,5 bis 2 °C zusteuern. Somit sollen auch lebensbedrohliche Folgen der Klimaerwärmung, wie etwa Welthunger durch Ernteausfälle, begrenzt werden.

Um die derzeitige klimatische Lage wieder in den erdgeschichtlichen Vergleich zu bringen, kann an dieser Stelle als Ansatzpunkt die CO₂-Entwicklung in historischer Sicht herangezogen werden.

Ein derart hoher CO₂-Wert von etwa 400 ppm kam in den letzten 800 000 Jahren nicht vor und ist zum Großteil auf anthropogene Emissionen zurückzuführen.

Wenn dieser CO₂-Wert auch nicht annähernd die Rekordwerte aus dem Kambrium erreicht, hat die Erhöhung um 40 % seit 1750 und das Hinzukommen anderer Treibhausgase in diesen 260 Jahren zu einem Temperaturanstieg um 0,85 °C geführt, der bis ans Ende des Jahrhunderts auf 1,5 - 2 °C weiter ansteigen wird.

Des Weiteren darf nicht auf die externen Faktoren auf die Klimaentwicklung vergessen werden, die in der Erdgeschichte oft ausschlaggebend für Klimawandel waren.

Beispielsweise galten die astronomischen Parameter als „Schrittmacher“ der pleistozänen Kalt-Warm-Zeiten, wobei auch diese Milankovic-Zyklen gewisser Rückkopplungsprozesse (Ozeanzirkulationsänderungen, Eis-Albedo-Temperatur-

Rückkopplungen etc.) bedurften, die das Klima in eine wärmere oder kältere Phase trieben.

Bei der heutigen Klimaerwärmung sind externe Faktoren vernachlässigbar: der Strahlungsantrieb der Sonne mit $0,05 \text{ W/m}^2$ ist im Vergleich zum menschlich verursachten Strahlungsantrieb mit $2,29 \text{ W/m}^2$ sehr gering (IPCC, 2016); auch die Erdumlaufbahn mit ihrer rezent elliptischen Form, der derzeitige Neigungswinkel der Erdachse von $23,5^\circ$ und die Achsausrichtung in Richtung Polarstern stehen in einer Konstellation, die auf keine groben klimatischen Veränderungen in den nächsten Tausend Jahren schließen lässt.

Erst in 25 000 Jahren rechnen Wissenschaftler wieder mit einer Kaltzeit.

Zusätzlich agieren aber auch Wechselwirkungen in unserem Klimasystem, wobei hierbei der Auslöser „Klimaerwärmung“ oft noch in Frage gestellt wird.

Fest steht, dass z. B. El-Niño-Ereignisse in den letzten Jahren gehäuft und auch intensiver auftraten. Auch die positive Rückkopplung „Klimaerwärmung-Gletscherrückgang-Albedoverringung-Temperaturanstieg“ nahm in den letzten Jahrzehnten stark zu und wird sich auch in den nächsten Jahrzehnten bedingt durch die Klimaerwärmung noch weiter fortsetzen.

Ein wichtiger Aspekt, wenn über die das Klima diskutiert wird, ist auch das Verständnis über die Auswirkungen geringer Temperaturänderungen, wie sie z. B. im Römischen Optimum oder in der Kleinen Eiszeit auftraten.

So wäre die Hochblüte der römischen Kultur ohne den Temperaturanstieg von $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $1 \text{ }^\circ\text{C}$ höchstwahrscheinlich nicht in dieser Größenordnung eingetreten, da der Ernteertrag ohne die günstigen Klimabedingungen nicht so hoch ausgefallen wäre.

Im Gegensatz dazu verdeutlicht die kälteste Klimaphase der letzten 8000 Jahre (Kleine Eiszeit) jedoch auch, dass eine geringe Abkühlung von $1 \text{ }^\circ\text{C}$ für die Menschheit drastische Auswirkungen haben kann (siehe Kapitel 4.4.).

Schließlich wurde bis zu diesem Abschnitt der Arbeit aufgezeigt, wie komplex die Abläufe eines Klimasystems sind, wie stark sich natürliche Klimafaktoren bis heute auf die Klimaentwicklung auswirkten, aber auch wie sehr der Mensch das Klima v. a. in den letzten 260 Jahren beeinflusst hat.

II. Fragebogenauswertung

7. Methode der SchülerInnenbefragung

7.1. Ziele des Fragebogens

Der Fragebogen bzw. dessen Auswertung soll LehrerInnen, die das Thema „Klimawandel“ im Schulunterricht behandeln wollen, einen Überblick geben, welche Kompetenzen sie in einer bestimmten Altersstufe bereits voraussetzen können und an welchen Kompetenzen sie eventuell zuvor noch arbeiten sollten.

Der erste Teil dieser Diplomarbeit, der die anthropogenen Einflüsse auf das Klima behandelte, verdeutlichte, wie viele Fachbereiche – sei es Physik, Chemie, Geologie, Astronomie usw. – das Thema „Klimawandel“ umfasst, um dessen Ursachen, Wechselwirkungen, Rückkopplungen etc. erklären bzw. verstehen zu können.

Deswegen sollten mit dieser Befragung u. a. folgende Fertigkeiten von SchülerInnen überprüft werden:

- bereits vorhandenes Fachwissen über Einflüsse auf den Klimawandel
- Einschätzung, inwieweit der Mensch überhaupt in die Klimaentwicklung eingreift
- Lesen von Landkarten
- Ableiten von Fakten aus Abbildungen
- Verstehen von Reaktionsgleichungen
- Daten aus Diagrammen herauslesen
- Interpretieren von astronomischen Abbildungen
- Zusammenhänge erkennen bzw. Schlüsse ziehen
(z. B. zwischen Temperaturkurven und Landkarten)

Neben diesen fachlichen Inhalten wurden auch noch

- das persönliche Interesse am Thema „Klimawandel“ bzw. der Interessensvergleich vor und nach der Befragung,
- die Selbsteinschätzung über bereits vorhandenes Wissen über den Klimawandel vor und nach der Befragung,
 - Quellen, die die SchülerInnen bereits über den Klimawandel informierten,
 - die Einschätzung des Schwierigkeitsgrades des Themas abgefragt.

7.2. Ort und Zeitraum der Datenerhebung

Die Befragung fand in einem BG/BRG im Oberen Waldviertel statt.

Dort vereinbarte ich mit drei BiologielehrerInnen Termine für die vorletzte Schulwoche (Juni 2015) vor den Sommerferien, in denen ich einen Teil der Unterrichtsstunden für die Befragungen zur Verfügung gestellt bekam.

7.3. Ablauf der Befragung

Trotz eines kurzen Informationsteils (Verweis auf Anonymität und auf keinerlei Auswirkung auf die Benotung auf dem Deckblatt des Fragebogens, verzichtete ich auf das Verschriftlichen der genauen Informationen über das „korrekte“ Ausfüllen des Fragebogens. Der Grund hierfür war die Annahme, dass sich die SchülerInnen sofort auf die Fragen, und nicht zuerst auf die „Anleitung“ dafür, „stürzen“ würden.

Deshalb gab es bereits vor dem Austeilen des Fragebogens mündliche Instruktionen meinerseits, um möglichst viele verwertbare Ergebnisse zu erhalten:

- Bemühen zeigen, möglichst alle Fragen zu beantworten
- Bitte um eigenständiges Erarbeiten
- Angabe des Geschlechts und des Alters im vorgegebenen „Kästchen“
- Beachten der möglichen Antwortmöglichkeiten unter jeder Fragestellung
- Zeitvorgabe: 20 Minuten, bei weiterem Zeitbedarf noch ein paar Minuten mehr

7.4. Beschreibung des Fragebogens

Das Deckblatt des Fragebogens enthielt allgemeine Informationen, die auf den Grund der Befragung (Diplomarbeit) verwiesen und die auch klarstellten, dass diese Befragung keinen Einfluss auf die Noten der SchülerInnen haben würde bzw. dass sie ihre Namen nicht preisgeben sollen.

Des Weiteren wurde die Angabe des Geschlechts und des Alters gefordert.

Auf eine Angabe der bisherigen Schullaufbahn wurde verzichtet, da es sich ausschließlich um SchülerInnen handelt, die von der Volksschule direkt in das Gymnasium übergetreten sind.

Der Fragebogen war insgesamt in drei Blöcke mit 20 Fragen unterteilt:

- 1. Block: Allgemeine Fragen 1 (Fragen 1 – 4)
- 2. Block: Fakten-Fragen (Fragen 5 – 17)
- 3. Block: Allgemeine Fragen 2 (Fragen 18 – 20)

Die „Allgemeinen Fragen“ zielten hauptsächlich auf die Selbsteinschätzung der SchülerInnen und auch auf das Erfahren bisheriger Informationsquellen über den Klimawandel ab.

Die Selbsteinschätzung bildete den Rahmen der Untersuchung, da diese sowohl in den „Allgemeinen Fragen 1“ als auch in den „Allgemeinen Fragen 2“ gefordert war. All diese Fragen waren in Form von Single Choice bzw. Multiple Choice zu beantworten.

Der zweite Block konzentrierte sich auf „Fakten-Fragen“ über das Thema „Klimawandel“, die entweder als geschlossene Fragen (Single- und Multiple-Choice) oder als offene Fragen gestellt waren.

Hierbei wurde sehr auf die Formulierung der Fragen geachtet, da bei den SchülerInnen der Eindruck vermieden werden sollte, dass es sich bei der Befragung um einen Test handle. Einerseits wurden deshalb die Fragen mit Paraphrasen wie zum Beispiel „... glaubst du,...“ oder „...deiner Meinung nach...“ versehen, andererseits wurden den Fragen zumeist kurze Einleitungstexte, Bilder, Landkarten etc. beigelegt.

Für das Erstellen der „Fakten-Fragen“ hatte ich mich bereits beim Lesen der Literatur für diese Arbeit inspirieren lassen. Dabei entstandene Ideen hielt ich sofort schriftlich fest und vervollständigte sie letztlich noch mit den jeweiligen Abbildungen.

Als es an die Formulierung der „Allgemeinen-Fragen“ ging, versetzte ich mich in eine junge Lehrperson, die von einem Tag auf den anderen in einer Klasse etwas über den Klimawandel lehren sollte und keine Ahnung davon haben würde, was die SchülerInnen bereits über dieses Thema gelernt haben. Was würde man als Lehrperson von diesen SchülerInnen wissen wollen, um sie mit dem auf sie zukommenden Thema weder zu über- noch zu unterfordern? Genau diese Fragen stellte ich den SchülerInnen der Befragung letztlich im Fragebogen.

Der vollständige Fragebogen befindet sich im Anhang dieser Arbeit.

7.5. Kritische Hinterfragung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Befragung sollten nicht auf andere Schultypen übertragen werden, da unterschiedliche Schultypen verschiedene Schwerpunkte aufweisen können (z. B. Wirtschaft, Naturwissenschaften uva.).

Weiters sollten auch die verschiedenen Fragetypen der Erhebung bei der Interpretation der Ergebnisse bedacht werden, auf die bereits im Kapitel 7.4. verwiesen wurde (Die persönliche Meinung und Einschätzung der SchülerInnen sowie Antworten, die verifizierbar oder falsifizierbar sind.)

8. Ergebnisse der Befragung

Um die Ergebnisse übersichtlicher zu gestalten bzw. um diese in der Diskussion später besser interpretieren zu können, werden die Antworten der UnterstufenschülerInnen (US) bzw. OberstufenschülerInnen (OS) im Folgenden gegenübergestellt.

Statt der Formulierung „Schüler und Schülerinnen“ wird die Abkürzung „SuS“ gebraucht.

8.1. Soziodemographische Daten

Zugehörigkeit zur Unter- und Oberstufe bzw. der jeweiligen Altersstrukturen:

An der Befragung nahmen insgesamt 126 SchülerInnen teil, die sich auf sieben Klassen verteilten: eine sechste Schulstufe, zwei achte Schulstufen, eine neunte Schulstufe, zwei zehnte Schulstufen und eine elfte Schulstufe.

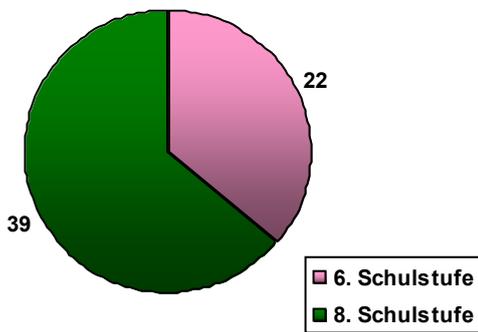
Die Anzahl aller 126 SchülerInnen teilte sich beinahe gleich auf die Ober- und Unterstufe auf (Abb. 22).

61 SchülerInnen davon besuchten die Unterstufe, wobei hiervon 22 SchülerInnen auf die 6. Schulstufe und 39 auf die 8. Schulstufe entfielen.

Von den 65 SchülerInnen der Oberstufe besuchten 22 SchülerInnen die 9. Schulstufe, 34 SchülerInnen die 10. Schulstufe und neun SchülerInnen die 11. Schulstufe.

Bei den US-Klassen waren die Altersgruppen 11, 12, 13 und 14 vertreten, in der Oberstufe die Altersstufen 15, 16 und 17.

SchülerInnenzahl Unterstufe



SchülerInnenzahl Oberstufe

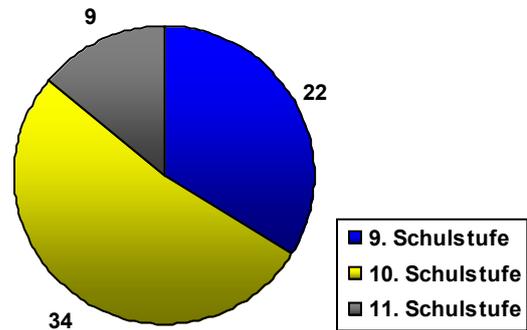


Abbildung 22: SchülerInnenanzahl der Unter- und Oberstufe

Geschlecht der Befragten:

Unter den 126 SuS befanden sich 84 weibliche und 42 männliche Vertreter.

Die Geschlechterverteilung auf die Ober- und Unterstufe sah wie folgt aus:

	WEIBLICH	MÄNNLICH
UNTERSTUFE	46	16
OBERSTUFE	38	26

8.2. Befragungsergebnisse des „Fakten-Teils“

Die Befragungsergebnisse des Fakten-Teils sind in jener Reihenfolge aufgelistet, in der sie auch später im Interpretationsteil (Kapitel 9) analysiert werden.

Zuerst werden die Ergebnisse des bereits vorhandenen Fachwissens über den Klimawandel präsentiert (Fragen 5, 6, 9 und 10). Darauf folgen die Ergebnisse der Fragen, die Kompetenzen wie Interpretieren, Zusammenhänge erschließen uva. überprüfen.

8.2.1. Wissen um Klimafaktoren, Klimatelemente und historische Klimaentwicklung

Anhand einer Abbildung bei Frage 5 sollten die SuS aus mehreren vorgegebenen Klimafaktoren jene ankreuzen, die auch in der Abbildung ersichtlich sind.

Der Vergleich der Antworten (Abb. 23) zeigt, dass „Sonneneinstrahlung“, „Kohlendioxid, Methan“ und „Rodung von Wäldern“ sowohl für die meisten US und OS Klimafaktoren darstellten.

Auffällig erscheinen die wenigen „Stimmen“ für „Meteoriteneinschläge“ und „Lage der Kontinente“ als Klimafaktoren sowohl bei den US als auch bei den OS.

Die größte Differenz der Antworten zwischen US und OS lag bei „Kohlendioxid/Methan“, die nur 41 US, aber 54 OS für einen Klimafaktor hielten.

Falsche Antworten sind in Abb. 1 mit „f“ (falsch) gekennzeichnet.

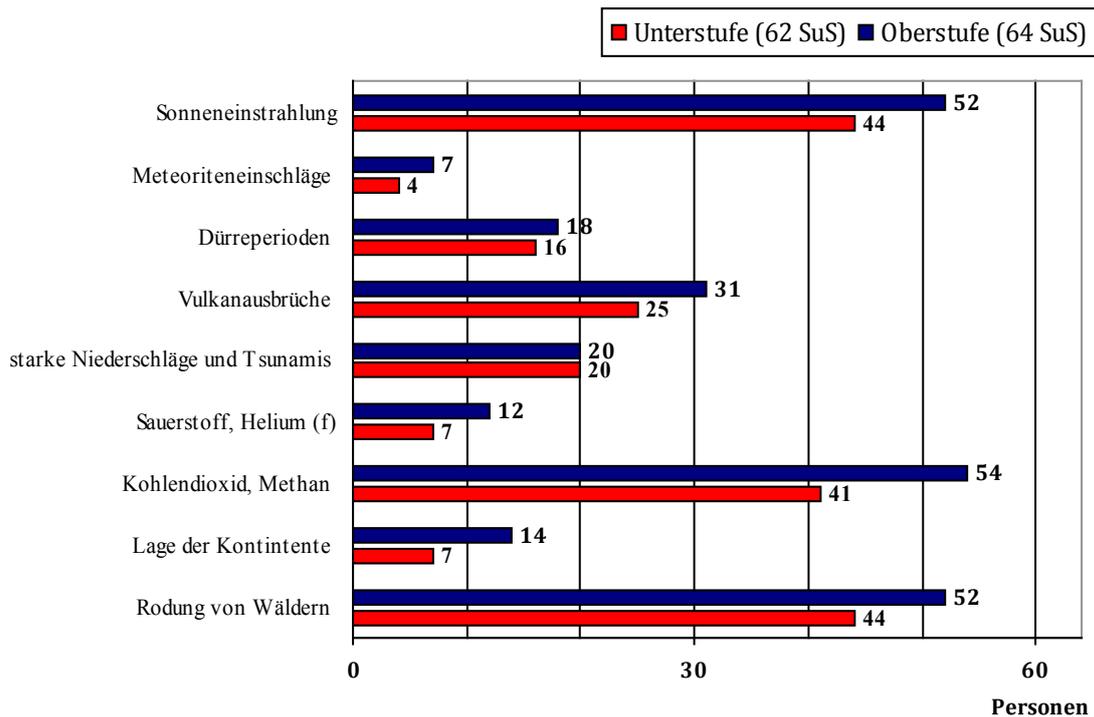


Abbildung 23: Auswertung Frage 5

Frage 5: Welche Faktoren, glaubst du, beeinflussen das Klima auf der Erde? (Mehrere Antwortmöglichkeiten)

Bei Frage 6 war die meist gewählte Antwort „Golfstrom bringt warmes Wasser aus der Karibik“, die wenigste Zustimmung fand die Antwortmöglichkeit 1 („Dort leben mehr Menschen, die heizen oder mit dem Auto fahren.“). (Abb. 24) Auffällig war, dass die Mehrheit der OS (49 Personen) die richtige Antwort gab, aber nur 27 der US.

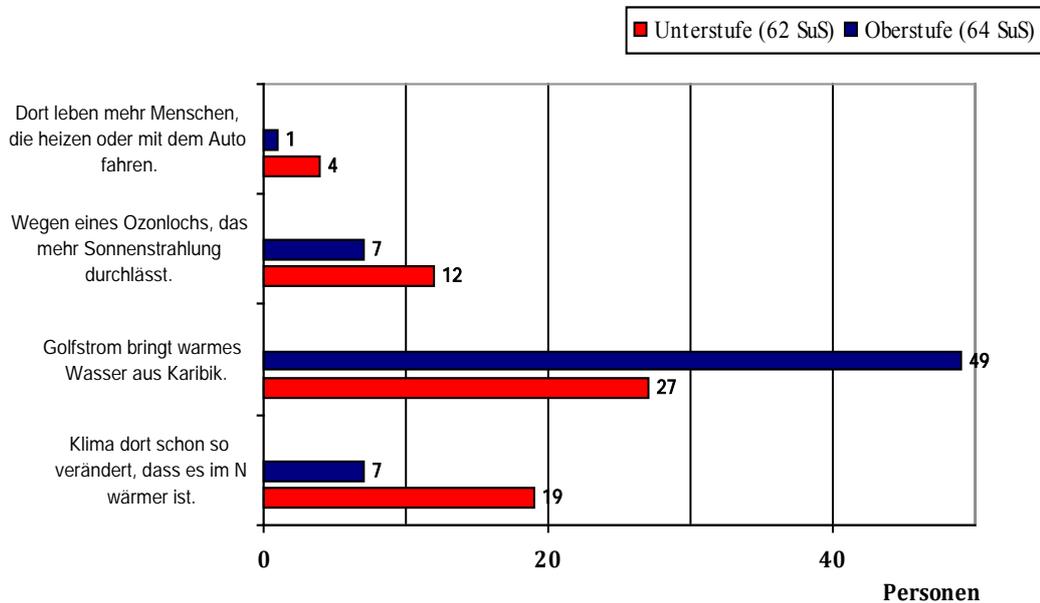
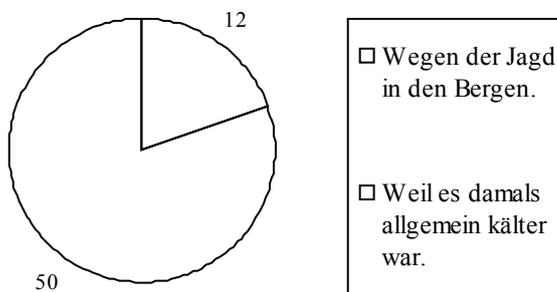


Abbildung 24: Auswertung Frage 6

Frage 6: Warum ist das Klima in Großbritannien zu Weihnachten milder als in Österreich? (Eine Antwortmöglichkeit)

Bei Frage 9 (Abb. 25) stimmten die US und die OS mehrheitlich für die Antwort „Weil es damals allgemein kälter war.“. Die richtige Antwort hierbei wäre jedoch „Wegen der Jagd in den Bergen.“ gewesen, die von 18 % der US und von 39 % der OS gewählt wurde.

Ergebnisse Unterstufe (in Personen)



Ergebnisse Oberstufe (in Personen)

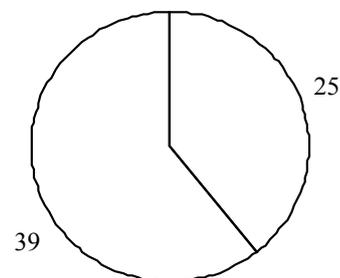


Abbildung 25: Auswertung Frage 9

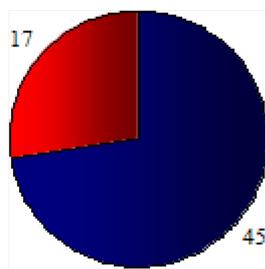
Frage 9: Warum war Ötzi so wie auf dem Bild gekleidet? (Eine Antwortmöglichkeit)

Frage 10, bei der gefragt wurde, warum Hannibals Elefantenherde bei der Überquerung der Alpen fast zur Gänze verstarb, brachte folgende Antwortverteilung (Abb. 26):

Gut zwei Drittel aller SuS entschieden sich für die Antwort „weil das Klima allgemein kälter war“. Die eigentlich korrekte Antwort „weil das Klima wärmer war“ bekam nur $\frac{1}{3}$ der Stimmen.

Bei der Auswertung fällt auf, dass die US und die OS beinahe im gleichen Verhältnis die Antwort 1 bzw. die Antwort 2 wählten.

Ergebnisse Unterstufe (in Personen)



Ergebnisse Oberstufe (in Personen)

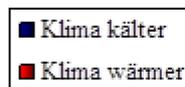
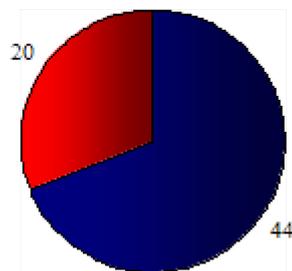


Abbildung 26: Auswertung Frage 10

*Frage 10: Warum hat Hannibal bei der Alpenüberquerung fast alle seine Elefanten verloren?
(Eine Antwortmöglichkeit)*

8.2.2. Einschätzung der anthropogenen Eingriffe in die Klimaentwicklung

Frage 7 erforderte die Einschätzung, zu welchem Anteil der Mensch am derzeitigen Klimawandel Einfluss nimmt. Eine richtige Antwort konnte auf diese Frage nicht gegeben werden, da der Einfluss auf den Klimawandel durch den Menschen bis heute nicht zahlenmäßig festgelegt werden kann.

Der Großteil aller SuS meinte jedoch, der Mensch habe „sehr großen“ Anteil am derzeitigen Klimawandel (etwa 72 % der OS, etwa 58 % der US). (Abb. 27)

Niemand war der Meinung, dass der Mensch „wenig“ oder „keinen“ Anteil am Klimawandel habe.

Lediglich 7 US und 1 OS gaben an, sich noch nie dazu Gedanken gemacht zu haben.

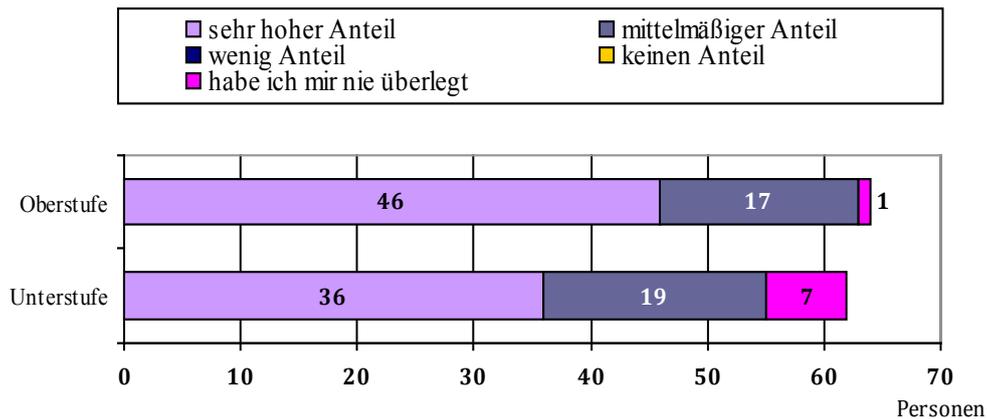


Abbildung 27: Auswertung Frage 7

Frage 7: Welchen Anteil hat deiner Meinung nach der Mensch am derzeitigen Klimawandel? (Eine Antwortmöglichkeit)

8.2.3. Einschätzung über den Anteil erneuerbarer Energien in Deutschland

Bei Frage 8 standen 4 Antwortmöglichkeiten zur Verfügung, die eine prozentuelle Einschätzung der verwendeten erneuerbaren Energien in Deutschland ermöglichten.

Auch bei dieser Frage fällt eine relativ ähnliche Verteilung der Antworten zwischen US und OS auf (Abb. 28): Etwa die Hälfte aller SchülerInnen hielt „30 %“ für richtig, etwa ein Drittel tippte auf „50 %“. Die wenigsten Antworten fielen auf die Extreme „70 %“ bzw.

„10 %“, wobei Letzteres die richtige Antwort gewesen wäre.

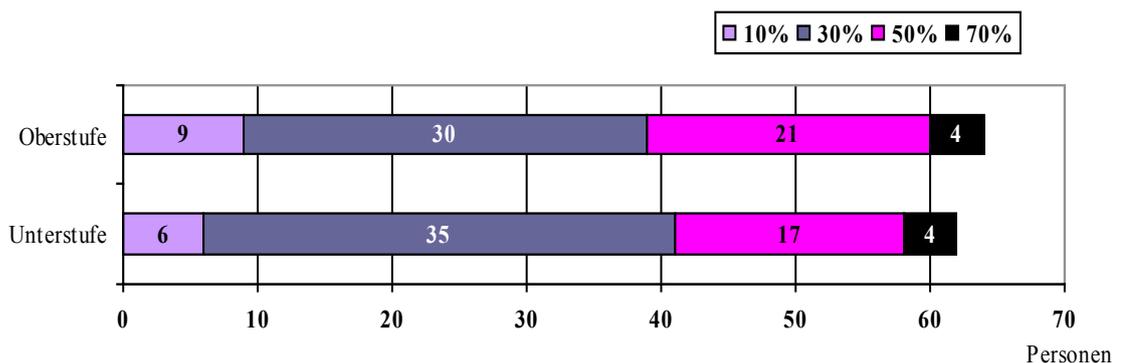


Abbildung 28: Auswertung Frage 8

Frage 8: Wie viel Prozent machen erneuerbare Energien bei der Energieerzeugung in Deutschland aus? (Eine Antwortmöglichkeit)

8.2.4. Ablesen von Daten aus Abbildungen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse jener Fragen ausgewertet, die auf das Ableiten von Fakten aus Abbildungen (Frage 11 und 5) und auf das Ablesen von Daten aus Diagrammen (Frage 14) bzw. aus Reaktionsgleichungen (Frage 12) abzielten.

Frage 11 hatte eine Abbildung mit diversen Klimafaktoren zur Grundlage, mit derer aus 11 angegebenen Antwortmöglichkeiten einige auch in der Abbildung ersichtlich waren; nur die in der Abbildung sichtbaren sollten auch angekreuzt werden.

Nicht anzukreuzen waren:

- „Salzgehalt im Meer“, „Sonnenstand“ und „Sinken des Meeresspiegels“
(nicht ersichtlich)
- „Treibhausgase sind u. a. Sauerstoff, Kohlendioxid und Wasserstoff“ (Sauerstoff ist kein Treibhausgas bzw. nicht in Abb. angegeben).

Die häufigsten Antworten fielen auf „Sonneneinstrahlung“ (119 Stimmen), darauf folgten „Treibhausgase“ (96 Stimmen), „Vulkanausbrüche“ (95 Stimmen) und „von der Erdoberfläche abgegebene Wärmestrahlung“ (95 Stimmen). (Abb. 29)

Am wenigsten wurden der „Salzgehalt“ (16 Stimmen), das „Sinken des Meeresspiegels“ (22 Stimmen) und der „Sonnenstand“ (26 Stimmen) angekreuzt.

Vergleicht man die Differenzen zwischen den Antworten der US und der OS, so fällt auf, dass sich für „Plattenbewegungen“ nur 27 US, aber 51 OS, entschieden.

Große „Einigkeit“ zwischen US und OS herrschte bei den Antworten „Vulkanausbrüche“ (48:47 Stimmen), „Pflanzenbewuchs“ (30:31 Stimmen), „Sinken des Meeresspiegelstandes“ (10:12 Stimmen) und „Sonneneinstrahlung“ (58:61 Stimmen).

Lediglich 2 SuS der Oberstufe - eine/r aus der 5. Klasse, eine/r aus der 7. Klasse - kreuzten alle Antworten korrekt an.

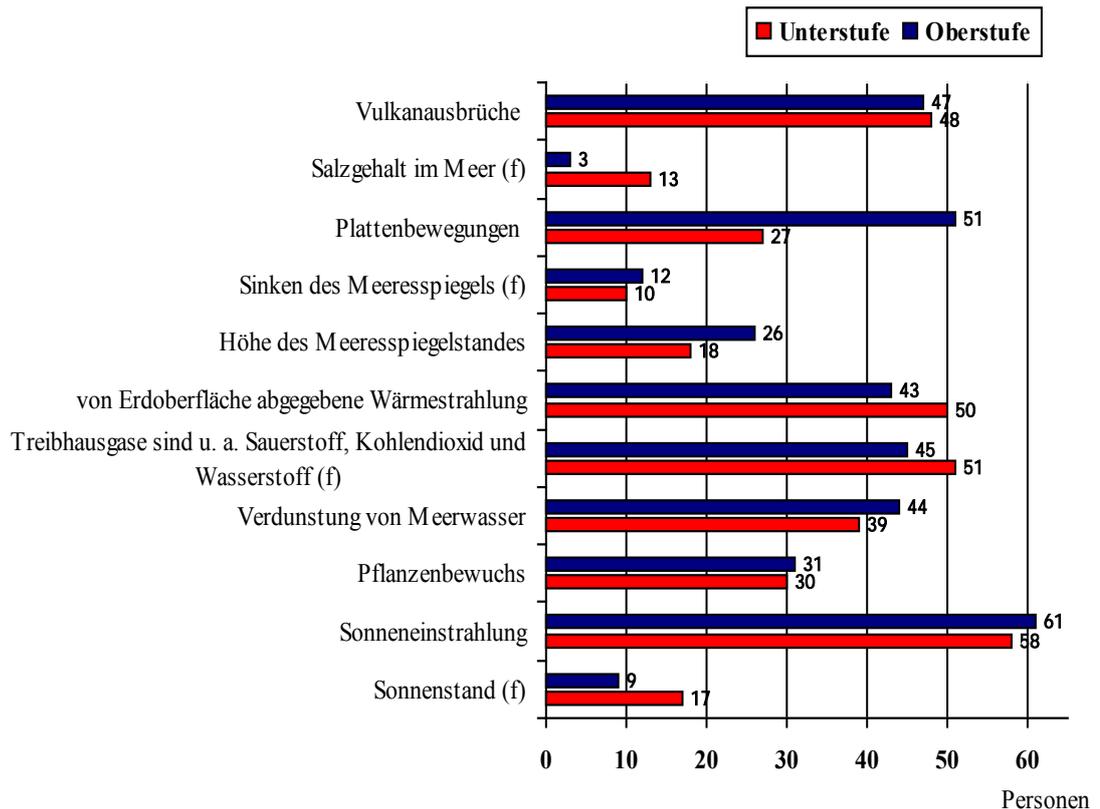


Abbildung 29: Auswertung Frage 11

*Frage 11: Kreuze jene Klimafaktoren an, die du in der Abbildung erkennen kannst!
(Mehrere Antwortmöglichkeiten)*

Frage 14 sollte aufzeigen, ob SuS Daten aus einem Diagramm entnehmen können. So sollten sie Temperaturwerte (auf der linken y-Achse) und CO₂-Werte (auf der rechten y-Achse) für bestimmte Zeiten (auf der x-Achse) herauslesen.

Bei der Auswertung wurde zusätzlich darauf geachtet, ob die jeweiligen Einheiten der Werte, die an den entsprechenden Achsen immer angegeben waren, auch in die Antwort miteinfließen, obwohl in den Fragen absichtlich nicht auf die Angabe der Einheit verwiesen wurde.

Drei Teilfragen waren hierbei in Form von offenen Fragen gestellt, bei der 4. Frage handelte es sich um eine Single-Choice-Frage.

Abbildung 30 repräsentiert eine Zusammenfassung der Antworten:

Frage b wurde insgesamt zu 97,6 % richtig beantwortet; nur zwei SuS der US und ein/e SchülerIn der OS antworteten falsch.

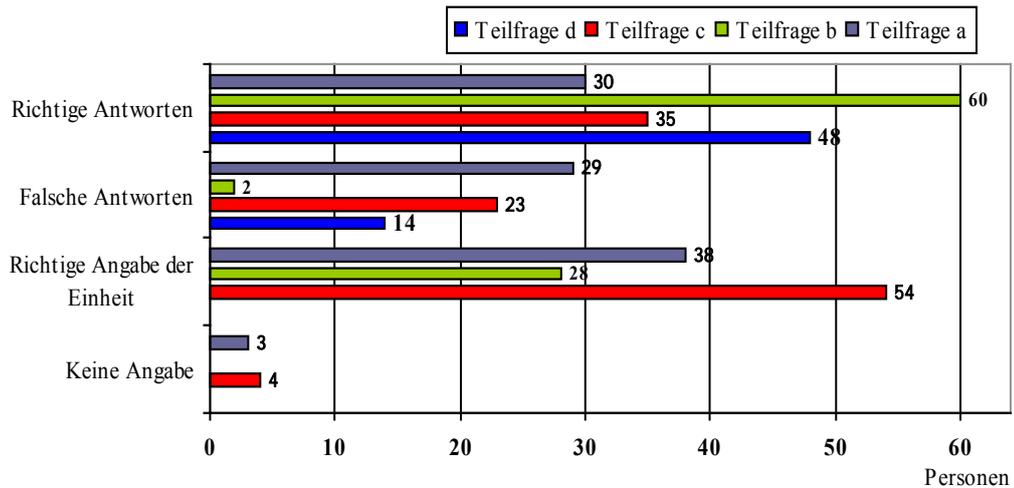
Auch bei Frage d, der Single-Choice-Frage, tippte ein Großteil aller SuS auf die richtige Antwort, wobei die OS mit ~ 88 % im Gegensatz zu den US mit ~ 77 % besser abschnitten.

Bei den Fragen a und c gaben im Durchschnitt etwa zwei Drittel der SuS die richtigen Antworten, wobei die OS besser abschnitten als die US.

Vergleicht man die Ergebnisse der „Richtige Angabe der Einheit“, so gaben 92 % aller SuS die Einheit „Grad“ bei Frage c korrekt an, wobei kein großer Unterschied zwischen US und OS zu erwähnen wäre.

Bei Frage a und b wurde ersichtlich, dass ein Viertel der OS sowohl die Einheit „Jahre“ als auch die Einheit „ppm“ eher angaben als die US.

Auswertung Unterstufe



Auswertung Oberstufe

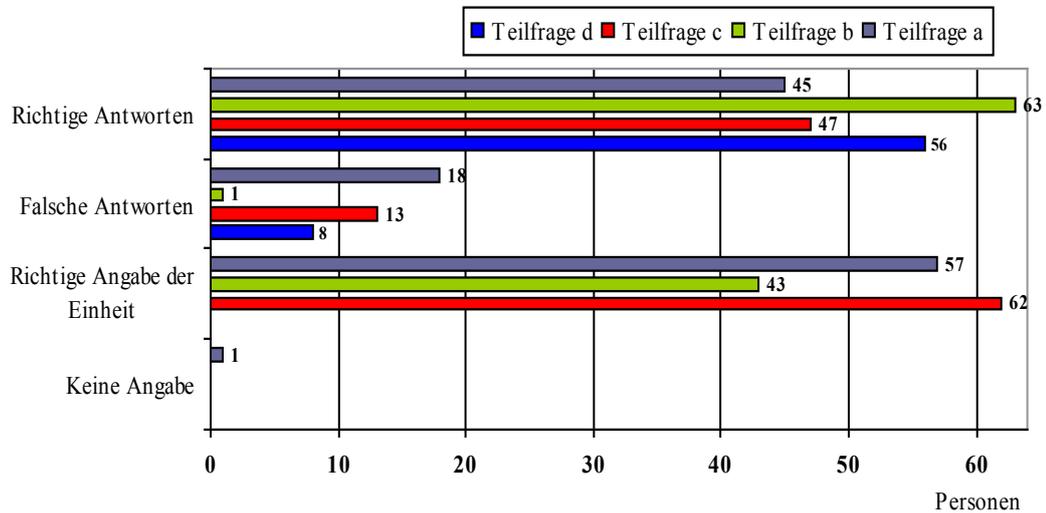


Abbildung 30: Auswertung Frage 14

Frage 14: Beantworte mithilfe des Diagramms folgende Fragen:

Vor wie vielen Jahren war der Höhepunkt der CO₂-Konzentration erreicht?

Wie hoch war der je höchst erreichte Wert von CO₂?

Wie hoch war die ungefähre globale Durchschnittstemperatur vor ~ 248 Mio. Jahren?

Kreuze an, ob es im Karbon nach relativ konstantem globalem Temperaturverlauf zu einem

Temperaturanstieg oder Temperaturabfall kam.

„Richtige Antworten“: richtige Antworten inkl. aller Antworten mit einer von mir festgelegten tolerierbaren Abweichung; müssen die jeweilige Einheit nicht enthalten

„Falsche Antworten“: Antworten, die nicht mehr im Rahmen der Abweichung liegen bzw. grundlegend falsche Antworten

Tolerierbare Abweichungen: - Teilfrage a: 544 – 524 Mio. Jahre (richtiger Wert: ~ 534 Mio. J.)

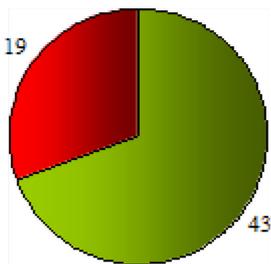
- Teilfrage b: 6 900 – 7 000 ppm (richtiger Wert: ~ 7000 ppm)

- Teilfrage c: 22,0 °C – 24 °C (richtiger Wert: ~ 23 °C)

Frage 12 sollte „prüfen“, ob SuS in der Lage sind, eine Reaktionsgleichung (Fotosynthese-Gleichung) zu deuten, indem sie anschließend eine Single-Choice-Frage beantworten müssen.

Das Ergebnis verdeutlichte, dass etwa drei Viertel aller SuS die Gleichung richtig interpretierten, wobei die OS etwas besser abschnitten als die US. (Abb. 31)

Ergebnisse Unterstufe (in Personen)



Ergebnisse Oberstufe (in Personen)

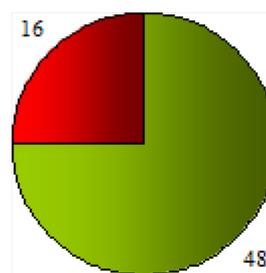


Abbildung 31: Auswertung Frage 12

„Frage“ 12: *Versuche mithilfe der folgenden Reaktionsgleichung, wie sie bei der Fotosynthese abläuft, die korrekte Erklärung für die Temperaturverringerung anzukreuzen! (Eine Antwortmöglichkeit)*

Richtige Antwort: Der bei der Fotosynthese zu Glucose gebundene Kohlenstoff führte zu einer Verminderung der Kohlendioxidkonzentration in der Luft, somit zur Verminderung des Treibhauseffekts und dadurch zur Temperaturverringerung.

Zusammenfassend ergaben die Fragen 11, 12 und 14, die das Herauslesen von Daten aus Graphiken testeten, dass gut 70 % aller SuS dazu imstande waren.

Interessanterweise ergaben sich bei den Antworten zwischen US und OS keine großen Unterschiede, außer beim Angeben von Einheiten (OS besser).

8.2.5. Lesen von Landkarten

Die Überprüfung der Fähigkeit, Kontinente, Länder und Ozeane aus Landkarten abzulesen, wurde deshalb durchgeführt, damit die Lehrpersonen, die das Thema „Klimaerwärmung“ in der Schule durchführen wollen, wissen, wie es um das geographische Wissen der SuS bestellt ist.

Frage 15 und 17 waren darauf ausgelegt, diese Fähigkeiten zu „testen“.

Frage 15 beinhaltete einerseits 3 Abbildungen, die jeweils eine Weltkarte von Anfang Jura, Ende Kreide und heute zeigten. Andererseits mussten bei Frage 15 gleich mehrere Fragen beantwortet werden.

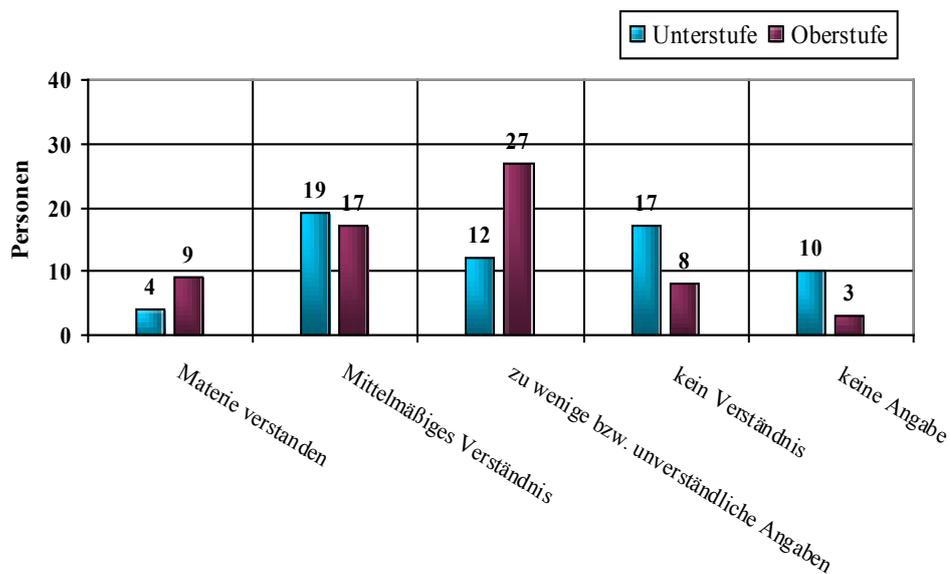


Abbildung 32: Auswertung Frage 15

Frage 15: „Versuche zwischen dem ersten, zweiten und dritten Bild jeweils Unterschiede zu finden: Welche Kontinente lassen sich erkennen? Welche Kontinentsabgrenzungen sind neu? Findest du den Atlantik, den Pazifik bzw. das Mittelmeer vor 200 Mio. und vor 65 Mio. Jahren?“

Materie verstanden: Entwicklung von Pangäa zu den heutigen 5 Kontinenten verstanden; Entwicklung der Tethys zu Atlantik, Pazifik, Mittelmeer und anderen Meeren

Mittelmäßiges Verständnis: entweder Entwicklung von Pangäa zu 5 Kontinenten oder Entwicklung von Tethys zu heutigen Meeren verstanden

Zu wenige bzw. unverständliche Angaben: zu wenige oder keine Angaben zur Kontinents- bzw. Ozeanentwicklung; Angaben zu einzelnen Kontinenten (Wertung erfolgt separat in Tab. 34)
Kein Verständnis: falsche Angaben

13 SuS konnten zu Frage 15 eine korrekte Antwort liefern, 25 SuS deuteten die Abbildungen nicht richtig. (Abb. 32)

Bei 36 der SuS war ein teilweises Verstehen der „Materie“ zu erkennen, hingegen machten 39 SuS zu wenige bzw. unverständliche Angaben, um nachvollziehen zu können, ob sie die Abbildungen verstanden haben.

Gut doppelt so viele OS wie US konnten richtige Angaben zu den Abbildungen geben. Weiters war auffällig, dass gut 40 % aller OS zu wenige bzw. zu unverständliche Angaben im Gegensatz zu den US mit nur 19 % aller US machten.

Die auf Abb. 33 angegebene Auswertung jener Kontinente, Länder und Meere, die von den SuS bei Frage 15 angeführt wurden, brachte folgende Ergebnisse:

„Pangäa“ wurde von nur 5 SuS gekennzeichnet, wobei es sich dabei um 2 US und 3 OS handelte. Die heutigen größten Kontinente wie „Europa“, „Asien“, „Nordamerika“, „Südamerika“ und „Afrika“ wurden von etwa der Hälfte aller SuS richtig beschriftet, wobei die Verteilung zwischen US und OS beinahe gleich war.

„Australien“ wurde von nur einem Viertel aller SuS angegeben.

Auffällig war, dass 17 % aller SuS die „Antarktis“ als solche erkannten, aber nur etwa 4 % die „Arktis“ angaben.

Während zu den Ländern insgesamt 350 Angaben von allen SuS gemacht wurden, waren es bei den Meeren nur 89. Letztere verteilen sich auf 31 US und 58 OS, wobei hiervon das „Mittelmeer“ (29 SuS), der „Pazifik“ (28 SuS) und der „Atlantik“ (27 SuS) die am häufigsten genannten Meere waren; der „Indik“ erhielt nur 5 Stimmen.

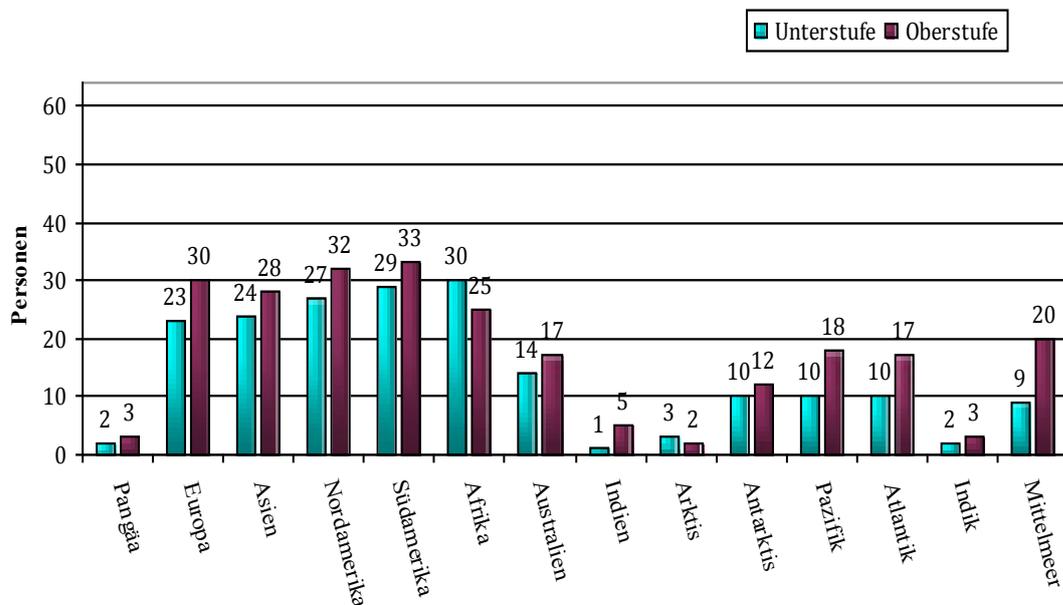


Abbildung 33: Auswertung Frage 15

Korrekt beschriftete Kontinente, Länder und Ozeane auf den Abbildungen von Frage 15

Frage 17 lag eine Karte zu Grunde, auf der der Verlauf des Golfstroms durch einen Pfeil gekennzeichnet war. Die auf der Karte dargestellten Kontinente/Länder waren in englischer Sprache beschriftet (North/South/Central America, Cuba, Bahamas, Greenland, Iceland, British Isles, Europe and Africa), worauf in der Interpretation der Ergebnisse geachtet werden sollte.

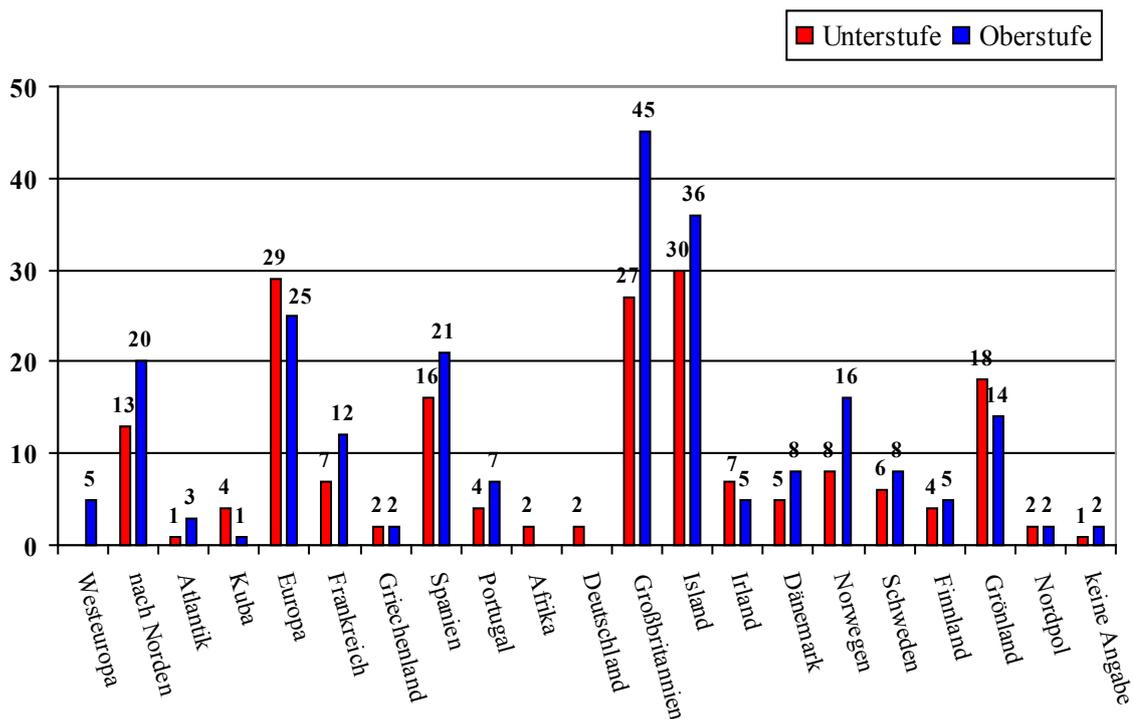


Abbildung 34: Auswertung Frage 17

Frage 17: „Betrachte den Verlauf des Golfstroms, der warmes Wasser aus der Karibik bringt. Wohin strömt er?“

Obwohl zwar einige Länder auf der Karte angegeben waren, gaben die SuS 14 weitere Orte an (Abb. 34), zu denen der Golfstrom fließt, wobei sich darunter auch die Angabe „Griechenland“ befand, die nicht als korrekt gewertet werden kann.

Das am häufigsten erwähnte Land, das nicht auf der Karte beschriftet war, stellte „Spanien“ dar (37 Angaben).

Die meisten richtigen Angaben entfielen auf „Großbritannien“ und „Island“, für die sich mehr als die Hälfte aller SuS entschieden.

Insgesamt machten die OS 237 Angaben, die US 188.

8.2.6. Interpretieren astronomischer Abbildungen

Grund für die Befragung über das Interpretieren von astronomischen Abbildungen war, dass beim „Durchnehmen“ des Themas „Klimawandel“ auch auf natürliche Klimaeinflüsse eingegangen werden sollte, zu denen u. a. die Milanković-Zyklen gehören.

Hierfür diente Frage 13, die nach einer kurzen Einleitung jene astronomischen Veränderungen im Laufe von tausenden von Jahren zeigte, die sich auf das Klima auswirkten.

Die Antworten wurden für die Auswertung auf die Kategorien „Erdumlaufbahn“, „Erdneigungswinkel“ und „Kreiselbewegung der Erde“ passend aufgeteilt. Weiters wurden die Antworten, die inhaltlich übereinstimmten, zu von mir formulierten Antworten im unten stehenden Diagramm zusammengefasst, um eine bessere Übersicht zu wahren.

Die Ergebnisse der Kategorie „Erdumlaufbahn“ (Abb. 35a) zeigten, dass die Mehrheit der Antworten mit je 38 Stimmen entweder keine verwertbaren Angaben enthielten oder dass die SuS auf eine Temperaturveränderung infolge einer Abstandsveränderung zwischen Erde und Sonne plädierten.

Prinzipiell waren alle Antworten falsch, da keine Formulierung verdeutlichte, dass eine exzentrische Erdbahn den Abstand zwischen Sonne und Erde innerhalb eines Jahres stark variieren lässt bzw. dass eine relativ kreisförmige Bahn zu einem relativ ähnlichem Abstand zwischen Erde und Sonne innerhalb eines Jahres führt.

Weiters kann aufgrund der Exzentrizität der Erdbahn allein nicht auf Temperaturschwankungen oder gar Warm- und Kaltzeiten geschlossen werden. Insofern sind keine der Antworten in Abb. 35a verifizierbar.

Hingegen erbrachte die Kategorie „Erdneigungswinkel“ einige Antworten, die sich als korrekt deuten ließen. So argumentierten 20 SuS (10:10), dass eine Änderung des Neigungswinkels mit einer Temperaturänderung einhergehe. Weitere 16 SuS (3:13) gaben an, dass sich die Sonneneinstrahlungsdifferenz ändere, sobald der Neigungswinkel größer werde.

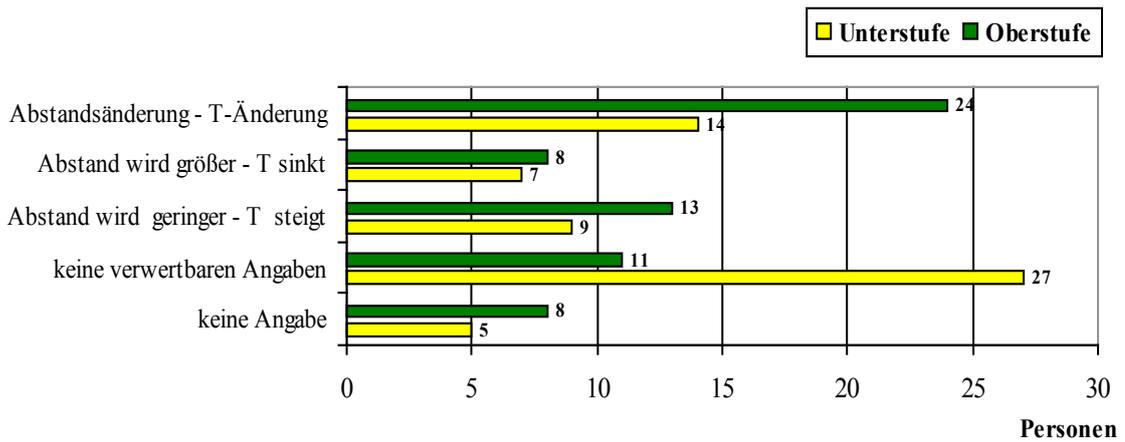
5 OS sprachen sich dafür aus, dass eine Schwankung des Neigungswinkels zu einer Änderung der Jahreszeiten führe.

Gut 64 % aller SuS machten keine Angabe zu dieser Kategorie. (Abb. 35b)

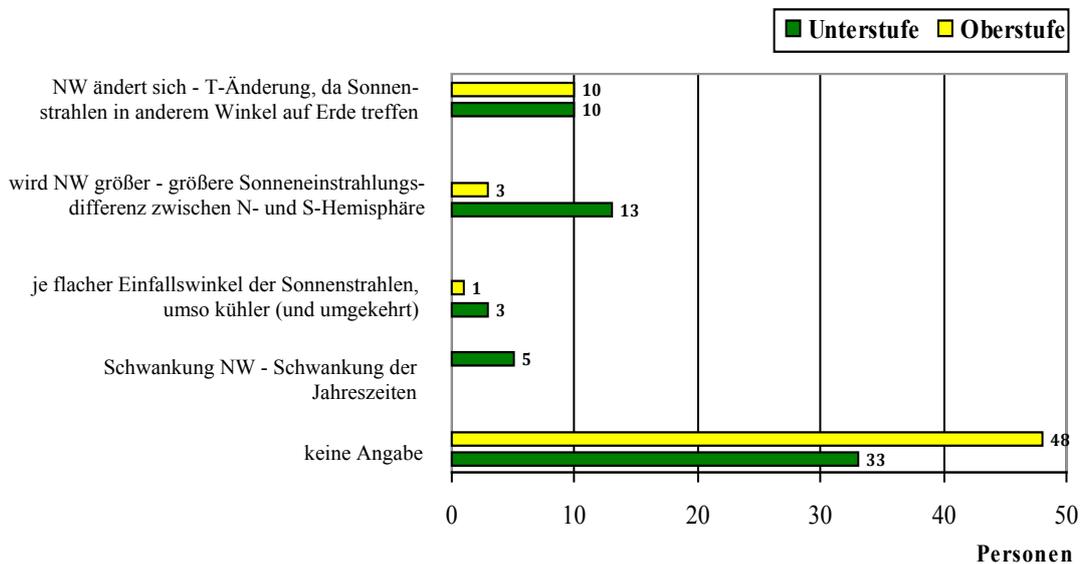
Auch bei Kategorie „Kreiselbewegung“ gab die Mehrheit der SuS (~80 %) keine Antwort. (Abb. 35c)

16 SuS (3:13) meinten, die Kreiselbewegung induziere eine Temperaturveränderung, 9 OS sprachen sich für eine größere Einstrahlungsdifferenz zwischen N- und S-Hemisphäre nach einer Kippbewegung aus; beide Ansichten können als richtig gewertet werden.

Ergebnisse zur Kategorie „Erdumlaufbahn“



b. Ergebnisse zur Kategorie „Erdneigungswinkel“



c. Kreiselbewegung der Erde

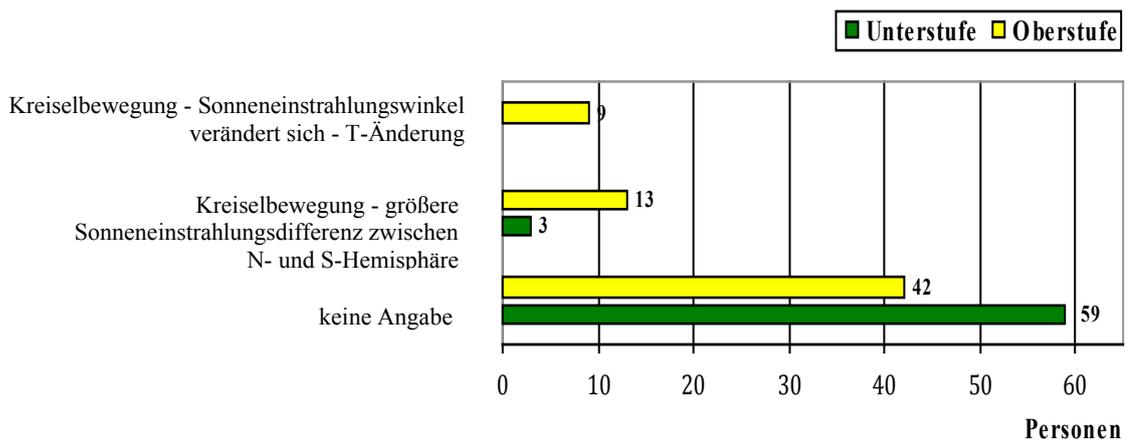


Abbildung 35: Auswertung Frage 13

Frage 13: „Nachdem du dir die Bilder und Erklärungen angesehen hast, überlege, inwieweit diese Veränderungen der Erde zu Warm- und Kaltzeiten führen können!“

Verwendete Abkürzungen in den Diagrammlegenden: T...Temperatur

NW...Neigungswinkel

8.2.7. Zusammenhänge erkennen

Frage 16 erforderte es, die vorliegenden Bilder der Erde (Perm, Kreide, heute) mit der Grafik aus Frage 14 zu vergleichen, um daraus Schlüsse zu ziehen, inwieweit die Lage der Kontinente mit der Klimaentwicklung in Verbindung steht.

43 % der SuS machten keine Angaben zu dieser Frage.

49 SuS (21:28) gaben Antworten, die als richtig erachtet werden konnten (in Abb. 36 mit * versehene Angaben), auch wenn teilweise Begründungen zu den Antworten fehlten. 22 SuS lieferten Antworten, die als falsch (in Abb. 36 mit „f“ versehen) gewertet wurden (10:12).

Die Hälfte aller SuS plädierte dafür, dass die Lage der Kontinente das Klima beeinflusse, nur 6 % sprachen sich gegen einen Einfluss aus.

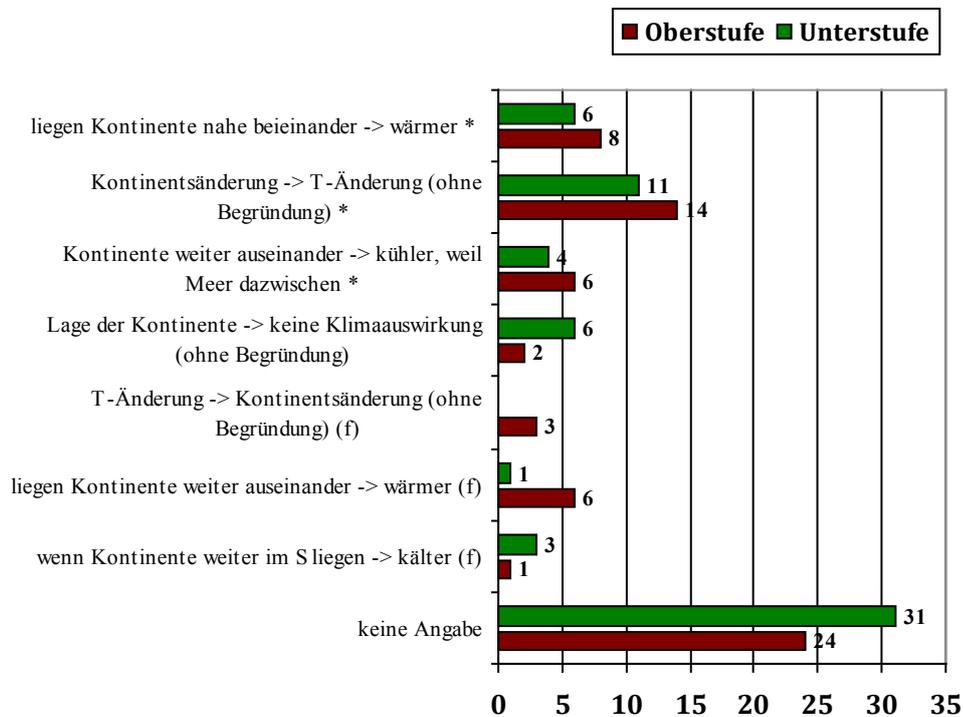


Abbildung 36: Auswertung Frage 16

Frage 16: „Glaubst du, die Lage der Kontinente hat etwas mit der Klimaentwicklung zu tun?“

8.3. Befragungsergebnisse der „Allgemeinen Fragen“

Bei den sieben allgemeinen Fragen ging es um die Einschätzung des Schwierigkeitsgrades des Themas Klimawandel und um bisherige Informationsquellen; das Interesse der SchülerInnen am Thema Klimawandel und die Einschätzung des Wissensstandes waren sowohl am Anfang als auch am Ende der Befragung anzukreuzen.

Diese Fragen waren allesamt in Form von Single- bzw. Multiple-Choice zu beantworten.

8.3.1. Einschätzung des Informationsstands über Klimawandel

Die Fragen 1 und 18 sollten erfragen, inwieweit die SuS bereits über Klimawandel informiert sind, wobei sie sich dabei einmal vor der Befragung des „Fakten-Teils“ und einmal danach selbst einschätzen sollten.

Vor der Befragung gaben knapp 60 % der SuS an, wenig über den Klimawandel Bescheid zu wissen: Etwa 37 % vermerkten, einiges wissen zu wollen, nur 3 % meinten, vieles zu wissen. (Abb. 37)

Im Vergleich dazu gaben nach der Befragung etwa 29 % der SuS an, wenig zu wissen. Die Mehrheit - mit 65 % - glaubte, einiges zu wissen. Auch die Anzahl derer, die meinten, vieles zu wissen, stieg auf 6 %.

Von jenen SuS, die vor der Befragung „weiß vieles“ angekreuzt hatten, gaben auch drei SuS davon nach der Befragung an, vieles zu wissen; ein OS allerdings gab an, nach der Befragung „nur“ einiges zu wissen.

Zusätzlich wurden die Meinungsänderungen vor und nach der Befragung jeder einzelnen Schülerin/jedes einzelnen Schülers untersucht, die folgendermaßen aussahen:

46 SuS meinten, ihr Wissen um einen Grad gesteigert zu haben, 4 SuS gaben sogar einen Wissensschritt um 2 Grade an, 73 SuS kreuzten an, auf demselben Wissensstand geblieben zu sein, 7 gaben an, dass sich ihr Wissen um einen Grad gemindert hätte.

Beim individuellen Vergleich der Fragen vor und nach der Befragung fiel auf, dass mehr OS (44 Stimmen) als US (29 Stimmen) meinten, ihr Wissensstand wäre gleich geblieben. 16 US/30 OS gaben an, ihr Wissensstand wäre um einen Grad gestiegen. Nur 7 SuS (3 US/4OS) glaubten, ihr Wissen wäre gesunken.

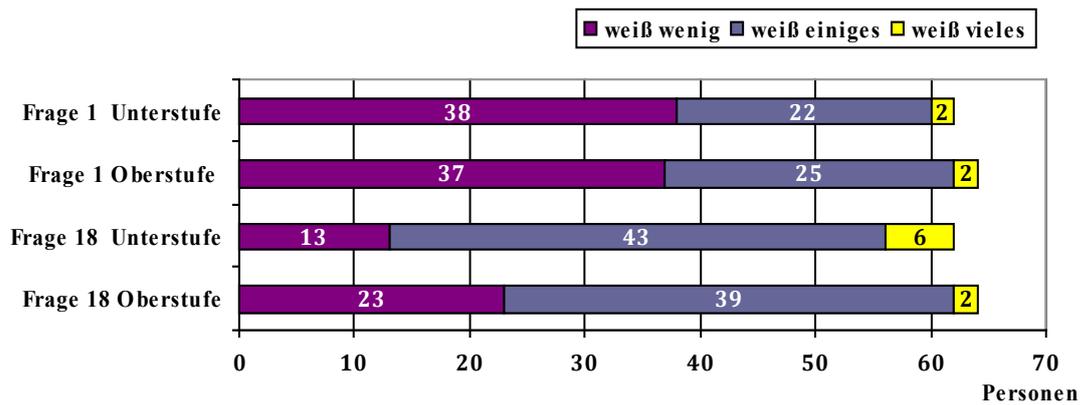


Abbildung 37: Auswertung Frage 1 und Frage 18

Frage 1: „Wie gut bist du deiner Meinung nach über den Klimawandel informiert?“

Frage 18: „Wie denkst du, bist du jetzt (nach Ausfüllen des Fragebogens) über den Klimawandel informiert?“ (jeweils eine Antwortmöglichkeit)

8.3.2. Interesse am Klimawandel

Frage 2 und Frage 19 sollten das Interesse am Klimawandel vor und nach der Befragung darlegen.

Gut drei Viertel aller befragten SuS gaben vor der Befragung an, an diesem Thema interessiert zu sein („ja“, „eher ja“ in Abb. 38), während der Rest kaum bzw. kein Interesse an diesem Thema zeigte („eher nein“, „nein“).

Nach der Befragung meinte die Mehrheit (79 SuS) so viel wie vor der Befragung zu wissen, 43 SuS kreuzten an, mehr als zuvor zu wissen.

Nur 2 SuS der US glaubten, sogar weniger als vorher zu wissen.

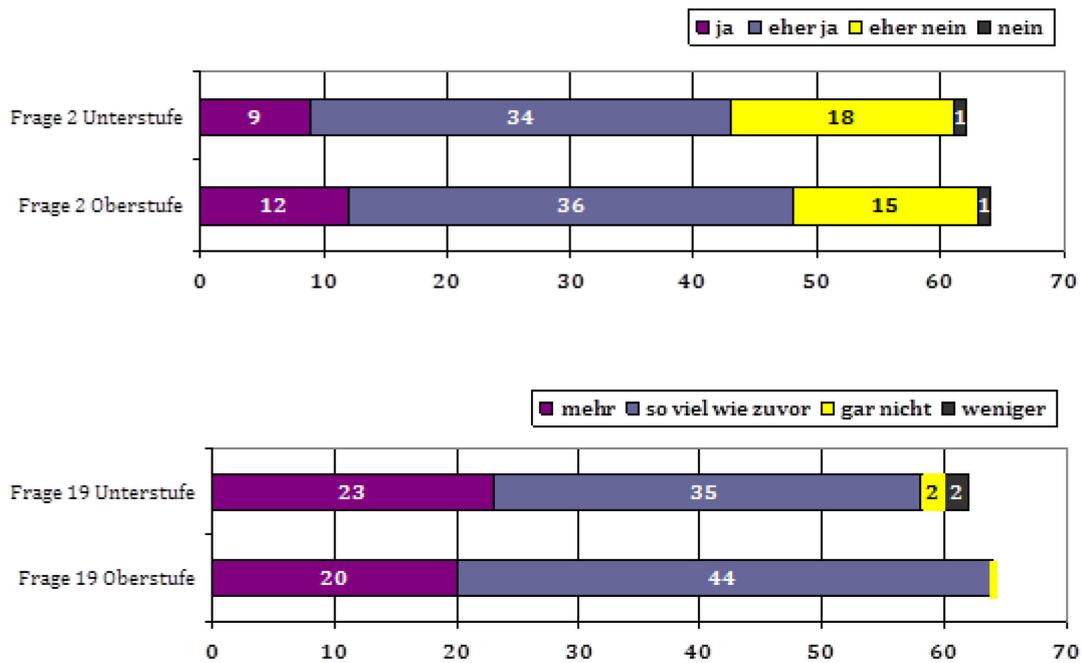


Abbildung 38: Auswertung Frage 2 und Frage 19
 Frage 2: „Interessierst du dich für das Thema „Klimawandel“?“
 Frage 19: „Wie sehr interessierst du dich nun (nach Ausfüllen des Fragebogens) für das Thema „Klimawandel“?“ (jeweils eine Antwortmöglichkeit)

8.3.3. Informationsquellen über Klimawandel

Bei Frage 3 hatten die SuS mehrere Informationsquellen über den Klimawandel zur Auswahl. Die Schule (94 Stimmen) und das Fernsehen (84 Stimmen) sind die häufigsten Informationsquellen. (Abb. 39) Das Internet wurde von mehr als doppelt so vielen OS als US angegeben. Als „sonstige“ Quellen wurden von einem US „Bücher“ genannt und von einem OS „Werbung“. Da Mehrfachantworten möglich waren, fiel auf, dass die OS 32 Angaben mehr als die US machten.

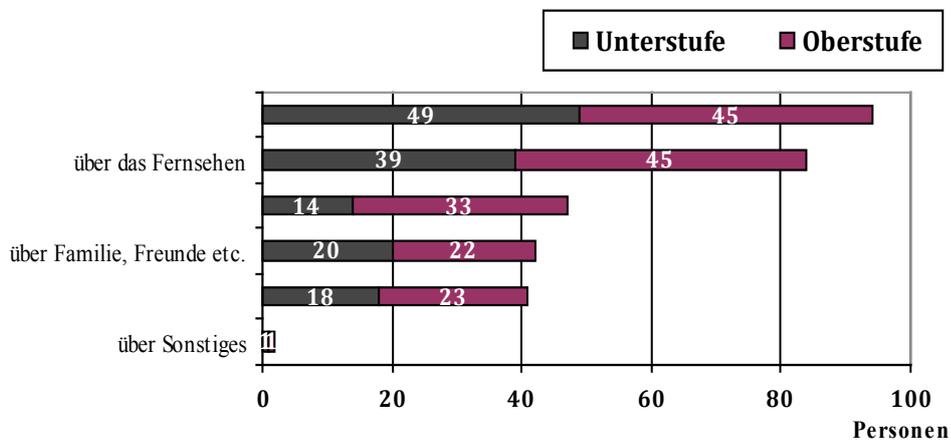


Abbildung 39: Auswertung Frage 3
 Frage 3: „Du wirst/wurdest über den Klimawandel informiert...“ (mehrere Antwortmöglichkeiten)

Zusätzlich sollte Frage 4 aufzeigen, in welchen Schulfächern die SuS bereits etwas über den Klimawandel gehört hatten. Auch hierzu wurden mehrere Antwortmöglichkeiten vorgegeben.

Am häufigsten wurde die Antwortmöglichkeit „Biologie“ markiert (91 Stimmen), gefolgt von „Geographie“ und „Chemie“. (Abb. 40)

10 OS kreuzten auch „Deutsch“ an. Unter „andere“ Fächer wurde dreimal das Fach Englisch angegeben.

Auch bei dieser Frage wurden mehr Stimmen von den OS (151 Stimmen) als von den US (114 Stimmen) abgegeben.

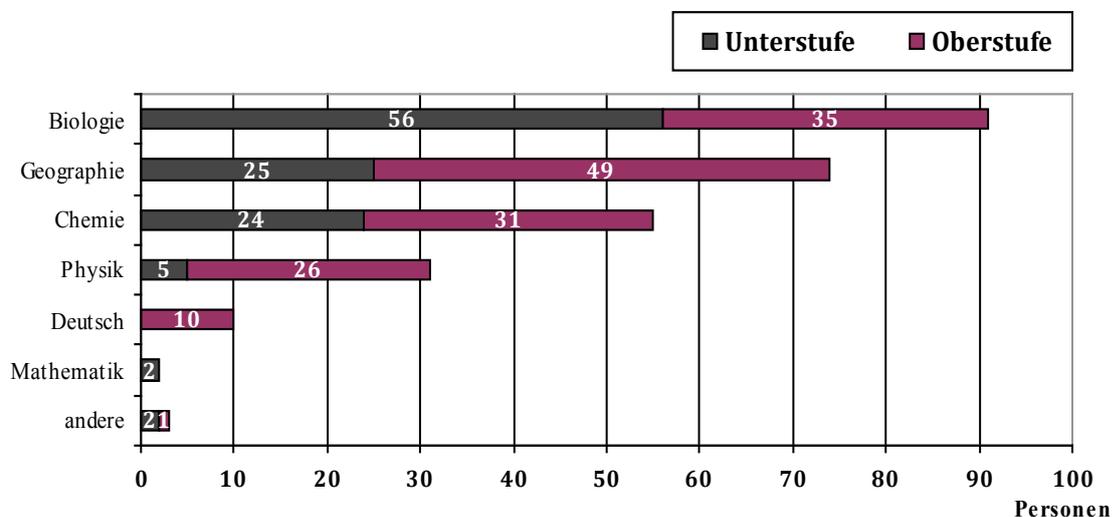


Abbildung 40: Auswertung Frage 4

Frage 4: „In welchen Fächern hast du bereits etwas über den Klimawandel gehört?“ (mehrere Antwortmöglichkeiten)

8.3.4. Schwierigkeitsgrad des Themas Klimawandel

Die letzte Frage (Frage 20) sollte aufdecken, wie schwierig die SuS das Thema Klimawandel einschätzen. Hierzu waren 5 Antwortmöglichkeiten von „schwierig“ bis „einfach“ vorgegeben.

Von 59 SuS ist das Thema als „mittelmäßig“, von 51 SuS als „eher schwierig“ eingestuft worden. 14 SuS gaben an, dass das Thema „schwierig“ sei. (Abb. 41)

Große Unterschiede zeigten sich bei dieser Frage zwischen US und OS. Gut die Hälfte aller OS meinte, das Thema sei „eher schwierig“, hingegen es mehr als die Hälfte der US scheinbar leichter empfand, indem sie „mittelmäßig“ ankreuzten.

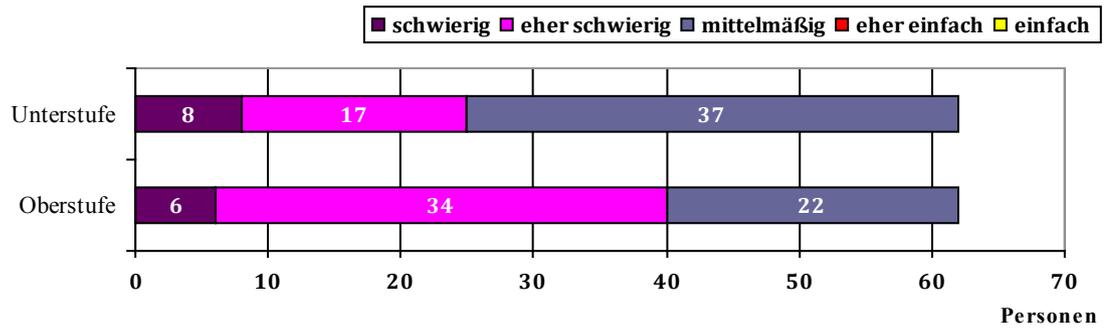


Abbildung 41: Auswertung Frage 20
 Frage 20: „Empfindest du das Thema Klimawandel als...“ (eine Antwortmöglichkeit)

9. Interpretation der Ergebnisse

9.1. Interpretation der Fakten-Fragen

- Betrachtet man die Ergebnisse zu jenen Fragen, bei denen die SuS ihr Wissen bzw. ihre Einschätzung über Klimafaktoren – auch in historischer Hinsicht – präsentieren sollten (Kap. 8.2.1., 8.2.2., 8.2.3.), wird deutlich, dass jene fünf Fragen, die verifizierbar/falsifizierbar (Frage 5, 6, 9, 10, 8) waren, im Durchschnitt nur zu 35 % richtig beantwortet wurden.

Weiters schnitten die OS (42 % richtig) dabei besser ab als die US (27 % richtig).

Bei diesem Teil der Auswertung sollte jedoch bedacht werden, dass zwei Fragen nur je zwei Antwortmöglichkeiten zuließen. Unwissenheit führte eventuell dazu, dass durch Zufall die richtige Antwort angekreuzt wurde.

- Bei der Einschätzung, inwieweit der Mensch auf den Klimawandel Einfluss habe (Frage 7), glaubten dies gut 65 % der SuS. Ursache dafür könnten unterschiedliche Informationsquellen sowohl im Privatleben als auch im schulischen Bereich sein.
- Das Ablesen von Daten aus einer Graphik (Frage 11), einem Diagramm (Frage 14) und einer Gleichung (Frage 12) wurde im Durchschnitt von gut 70 % aller SuS getätigt. Das Entnehmen von Informationen aus dem Diagramm gelang am besten, das aus der Graphik hingegen am wenigsten.

Bei der Angabe der Einheiten erwies sich „Grad Celsius“ als die am häufigsten erwähnte, gefolgt von „ppm“. Als „Schlusslicht“ zeigte sich die „Einheit“ „Jahre“, obwohl hierbei erwähnt werden sollte, dass sich diese Einheit bereits in der Fragestellung zeigte, weshalb einige SuS möglicherweise deshalb auf eine nochmalige Angabe verzichteten.

OS schnitten sowohl bei den Antworten als auch bei den Angaben der Einheiten besser ab.

An dieser Stelle soll noch ein Vergleich zwischen Frage 5 und Frage 11 sowie zwischen Frage 5 und Frage 16 aufgezeigt werden.

Frage 5 und 11 beinhalten beide die Antwortmöglichkeiten „Vulkanausbrüche“ und die inhaltlich übereinstimmenden Begriffe „Rodung von Wäldern“/ „Pflanzenbewuchs“ als potentielle Klimafaktoren, die jedoch bei beiden Fragen jeweils in unterschiedlichem Ausmaß angekreuzt wurden.

Vulkanausbrüche: 44 % (Frage 5), 75 % (Frage 11)

Rodung von Wäldern/Pflanzenbewuchs: 76 % (Frage 5), 48 % (Frage 11)

Auch Frage 5 und 16 ähnelten sich insofern inhaltlich, indem sie beide erfragten, ob die Lage der Kontinente als Klimafaktor agiere. Während dieser Klimafaktor von 17 % aller SuS bei Frage 5 bejaht wurde, stimmten dieser Antwort bei Frage 16 gut 50 % zu. Dieser Unterschied ist höchstwahrscheinlich mit den bei Frage 16 beigelegten Abbildungen zu erklären, aus denen der Klimafaktor „herauszulesen“ gewesen wäre.

Jedoch soll dieser Vergleich verdeutlichen, dass die SuS während der Befragung scheinbar nicht zu bereits beantworteten Fragen zurückblättern, um diese auszubessern, falls sie in einer späteren Frage die korrekte Antwort erschließen konnten. Vermutlich war den SuS der Zusammenhang zwischen manchen Fragen nicht aufgefallen.

- Beim „Lesen von Landkarten“ (Frage 15 und 17) sollte getestet werden, inwieweit die SuS Länder, Kontinente und Meere auf teilweise unbeschrifteten Karten erkennen können. Außerdem waren die Unterschiede zwischen Landkarten aus verschiedenen Perioden herauszufinden.

Globale geographische Angaben konnten mithilfe von Frage 15 gemacht werden. Hierbei wurden die fünf Kontinente von beinahe der Hälfte aller SuS genannt, die Arktis und die Antarktis wurden von ca. 10 % aller SuS beschriftet.

Nur etwa 4 % aller SuS gaben auch Pangäa an. Nennenswerte Unterschiede zwischen US und OS waren nicht zu erkennen.

Bei den Ozeanen (Pazifik, Atlantik, Indik, Mittelmeer) ergaben sich nur wenige Angaben: 13 % der US, 23 % der OS.

Bei Frage 17 waren europäische bzw. nordamerikanische Länderangaben zu machen. Auf die sechs – in englischer Sprache bereits beschrifteten Länder/Kontinente (Kuba, Grönland, Island, Großbritannien, Europa und Afrika) fielen nur 22 % aller US-Stimmen und 32 % aller OS-Stimmen. Zusätzlich wurden neun weitere europäische Länder mit 178 Stimmen angegeben. OS machten um gut ein Drittel mehr Angaben. 4 SuS gaben Griechenland an, was als falsch gewertet werden muss.

Es sollte jedoch die Fragestellungen berücksichtigt werden, die es nicht erforderte, alle potentiellen Länder zu nennen.

Weiters machten manche SuS gleich mehrere Angaben, andere hingegen nur wenige, weshalb die oben genannten Durchschnittswerte unter Vorbehalt zu erwähnen sind.

- Das Interpretieren astronomischer Abbildungen schien den SuS bei Frage 13 sehr schwer gefallen zu sein, da nur 9 % aller US und 26 % aller OS richtige Erklärungen geben konnten.
- Frage 14 überprüfte das Erkennen von Zusammenhängen zwischen einer Grafik und drei Abbildungen, was von etwa 39 % aller SuS geschafft wurde, wobei die OS etwas besser als die US abschnitten.

Zusätzlich sollte zu den Ergebnissen erwähnt werden, dass von einer/einem SchülerIn meist nur ein bzw. wenige Zusammenhänge genannt wurden, diese aber trotzdem als korrekt gewertet werden konnten.

9.2. Interpretation der Allgemeinen Fragen

- Der Vergleich der Einschätzung über den Informationsstand zum Thema Klimawandel zeigte auf, dass sich die SuS nach der Befragung gleich gut oder zumeist besser informiert fühlten als zuvor.

Auch bezüglich des Interesses wurde deutlich, dass dies bei einem Drittel der SchülerInnen gestiegen war. Vier SuS der US gaben allerdings an, ein geringeres Interesse als vor der Befragung zu zeigen.

- Die häufigste Informationsquelle über den Klimawandel stellte die Schule dar, die von drei Viertel aller SuS angegeben wurde. Vor allem im Gegenstand Biologie wurde das Thema bereits im Unterricht behandelt.

Auch das Fernsehen wurde von vielen SuS (67 %) als Informationsquelle über den Klimawandel genannt.

Auf Häufigkeit bzw. Intensivität des Unterrichts lässt sich allerdings daraus nicht schließen.

- Die Einschätzung des Schwierigkeitsgrades (Frage 20) deckt sich mit den ermittelten Ergebnissen, die aufzeigten, dass den SuS das Beantworten der Fragen großteils schwer fiel.

III. Schulbuchanalyse

10. Ziele der Schulbuchanalyse

Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde eine Schulbuchanalyse über den anthropogenen Klimawandel erstellt. Diese soll verdeutlichen, ob und wenn ja in welchen Schulstufen – sowohl der Unter- als auch der Oberstufe – Themen, die sich auf den menschengemachten Klimawandel beziehen, behandelt werden. Um die Problematik des Klimawandels verstehen zu können, sind viele biologische Grundkenntnisse von Nöten. Auch diese wurden im Laufe der Analyse untersucht. Dazu gehörten die Geologie inklusive der Plattentektonik, der Aufbau der Erde bzw. deren Stellung im Planetensystem, der Kohlenstoff- und Stickstoffkreislauf sowie der Ablauf der Fotosynthese, der natürliche Treibhauseffekt uva.

Zusätzlich sollte dargelegt werden, inwieweit der Lehrstoff in den Büchern didaktisch für SchülerInnen aufbereitet wurde, ob er verständlich und übersichtlich dargestellt zu sein schien und mit welchen Abbildungen der Lehrstoff attraktiver gemacht wurde. Auch auf das altersadäquate Niveau des Inhalts in der jeweiligen Schulstufe wurde geachtet.

Gerade beim Thema Klimawandel spielt v. a. die Aktualität der Inhalte in den Schulbüchern eine Rolle. Es gibt über Klimafaktoren immer wieder neue wissenschaftliche Erkenntnisse und auch die Zahlen über die Folgen des bisherigen Klimawandels, wie z.B. die Änderung der globalen Temperatur oder des Meeresspiegels, bzw. die Zukunftsprognosen verändern sich laufend.

Vorrangig werden in der Schule die im Lehrplan erwähnten Themen im Unterricht durchgenommen. Es war interessant herauszufinden, inwieweit im Lehrplan das Thema anthropogener Klimawandel verankert ist bzw. in welchem Umfang das Thema im Lehrplan berücksichtigt wird.

11. Lehrplananalyse

Der Lehrplan „Biologie und Umweltkunde“ ist in drei Bereiche gegliedert: der erste Bereich befasst sich mit allgemeinen Bildungs- und Lehraufgaben, der zweite verweist auf didaktische Grundsätze, der dritte beinhaltet den Kernbereich des Lehrstoffs.

Eine derartige Gliederung gibt es sowohl für die Unter- als auch die Oberstufe, wobei sich der erste und zweite Bereich der Unter- und Oberstufe oftmals überschneiden.

So wird im Bereich Bildungs- und Lehraufgabe sowohl im Lehrplan der Unterstufe als auch im Lehrplan der Oberstufe angeführt, dass die SchülerInnen „ (...) Prinzipien, Zusammenhänge, Kreisläufe und Abhängigkeiten sehen lernen.“ sollen. Weiters zielt er darauf ab, den SchülerInnen „ökologische Handlungskompetenz“ nahe zu bringen, die zu einem umweltbewussten und nachhaltigen Umgang mit ihren Lebensgrundlagen führen soll. Auch das Verhältnis zwischen „Mensch – Natur, Ökologie – Ökonomie, Energie, Nachhaltigkeit“ muss im Unterricht zur Diskussion stehen. Zusätzlich wird darauf verwiesen, „Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf Natur, Umwelt und Gesundheit, ...“ abzuhandeln. (BMBF Lehrpläne, 2016)

Obwohl der erste Bereich des Lehrplans zwar den Klimawandel noch nicht direkt erwähnt, können die oben genannten allgemeinen Bildungsziele gut mit dem Durchnehmen des Themas anthropogener Klimawandel erarbeitet werden. Selbiges gilt für die didaktischen Grundsätze, die im zweiten Bereich des Lehrplans festgehalten werden:

Sowohl in der Unter- als auch in der Oberstufe soll die Lebenswirklichkeit der SchülerInnen in den Unterricht eingebaut werden, wobei im Lehrplan der Unterstufe zusätzlich „gesellschaftsrelevante Aspekte“ erwähnt werden, die den SchülerInnen in Zukunft ein Leben ermöglichen sollen, in dem sie verantwortungsvoll in der Gesellschaft agieren können (BMBF Lehrpläne, 2016). Da der Klimawandel aktueller denn je ist, wie Berichte in den Medien und öffentliche Diskussionen zeigen, ist dieses Thema durchaus auch eine didaktische Herausforderung.

Auch fächerübergreifendes Lernen wird in den didaktischen Grundsätzen angeführt. Diesbezüglich kann das Thema Klimawandel ebenfalls seine Aufgabe erfüllen, da sowohl biologische, chemische, physikalische und geographische Komponenten abgehandelt werden müssen. Jedoch sollte nicht auf die wirtschaftlichen Aspekte beim Klimawandel vergessen werden, die mit dem ökologischen Denken oft konkurrieren. Aber auch sprachlich übergreifender Unterricht ist gerade beim Klimawandel ein leicht umsetzbarer Punkt, da wissenschaftliche Berichte darüber oft in englischer Sprache abgefasst sind.

Im dritten Bereich des Lehrplans, dem Kernbereich, lassen sich bereits konkretere Forderungen an die Lehrperson betreffend des Lehrstoffes finden, jedoch sind auch diese meist sehr frei und offen formuliert, sodass der/dem LehrerIn sehr viel Spielraum beim Auswählen ihrer/seiner Themenschwerpunkte bleibt.

Für die Unterstufe wird im Lehrplan keine direkte Behandlung des Themas Klimawandels gefordert, jedoch lassen sich von der ersten bis zur vierten Klasse einige Themen finden, die unbedingt vor der Auseinandersetzung mit dem Thema (anthropogener) Klimawandel abgehandelt werden sollten. Im Oberstufenlehrplan wird der Klimawandel in der 6. Klasse wortwörtlich erwähnt, aber auch hier sind Themen aufgelistet, die mit dem Klimawandel in Verbindung stehen. In jeder Schulstufe liegt eine grobe Gliederung vor, wobei in der Unterstufe zwischen den Bereichen „Mensch und Gesundheit“, „Tiere und Pflanzen“ und „Ökologie und Umwelt“ und in der Oberstufe zwischen den Bereichen „Mensch und Gesundheit“, „Weltverständnis und Naturerkenntnis“, „Ökologie und Umwelt“ und „Biologie und Produktion“ unterschieden wird: In diesen Bereichen werden jeweils wieder diverse „Unterpunkte“ angeführt. In den folgenden Tabellen sind pro Schulstufe jene Themen aufgelistet, die mit dem Klimawandel korrelieren:

Tabelle 1: Klimawandelrelevante Themen im Kernstoff BIUK Unterstufe (BMBF Lehrpläne, 2016)

	Mensch & Gesundheit (BMBF Lehrpläne, 2016)	Tiere und Pflanzen (BMBF Lehrpläne, 2016)	Ökologie & Umwelt (BMBF Lehrpläne, 2016)
1. Klasse	-	Bau und Funktion der Pflanze	- Ökosystem Wald: positive wie negative Folgen menschlichen Wirkens thematisieren und hinterfragen - Umweltprobleme, deren Ursachen und Lösungsvorschläge bearbeiten - Umwelt-, Natur- und Biotopschutz an konkreten Beispielen demonstrieren

<p>2. Klasse</p>	<p>Positive und negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit anhand des Ökosystems Wald</p>	<p>Bau und Funktion ausgewählter Blütenpflanzen, Sporenpflanzen und Mikroorganismen anhand der Ökosysteme Wald und Wasser</p>	<p>- Ökosysteme Wald & Heimische Gewässer: positive wie negative Folgen menschlichen Wirkens analysieren und hinterfragen</p> <p>- Umweltprobleme, deren Ursachen und Lösungsvorschläge erarbeiten</p> <p>- Umwelt-, Natur- und Biotopschutz an konkreten Beispielen demonstrieren</p>
<p>3. Klasse</p>	<p>„Anhand der zu besprechenden Ökosysteme sind die positiven und negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit zu behandeln.“</p>	<p>- Bedeutung der Pflanzen für die Existenz des Lebens auf der Erde</p> <p>- Entwicklungsgeschichte der Erde und des Lebens</p>	<p>- ökologische Grundbegriffe (Stoffkreisläufe) anhand des Ökosystems Boden und eines landwirtschaftlich genutzten Ökosystems (z.B. Acker, Wiese)</p> <p>- „Positive wie negative Folgen menschl. Wirkens sind hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Ökosystem Boden zu analysieren und zu hinterfragen.“</p> <p>- Umweltprobleme (siehe 2. Klasse)</p> <p>- Umwelt-, Natur- und Biotopschutz (siehe 2. Klasse)</p>
<p>4. Klasse</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>Ökosystem Stadt & Ökosystem einer anderen Region (z.B. Regenwald, Meer): Ökologische Grundbegriffe (Stoffkreisläufe) vertiefen</p>

			<ul style="list-style-type: none"> - „Positive wie negative Folgen menschlichen Wirkens sind hinsichtlich ihrer Auswirkungen zu analysieren und zu hinterfragen.“ - Umweltprobleme (siehe 2. Klasse) - Umwelt-, Natur- und Biotopschutz (siehe 2. Klasse)
--	--	--	--

Tabelle 2: Klimawandelrelevante Themen im Kernstoff BIUK Oberstufe (BMBF Lehrpläne, 2016)

	Weltverständnis & Naturerkenntnis	Ökologie & Umwelt
5. Klasse	-	„Verständnis für die Probleme (...) der Ressourcenverteilung und der verschiedenen Formen der Landwirtschaft (intensiv und extensiv) erwerben, Ursachen für den Nord-Süd-Konflikt erkennen (...)“
6. Klasse	Bioplanet Erde: Erdstellung im Weltall, Aufbau und Struktur der Erde und geodynamische Formungskräfte kennenlernen	<ul style="list-style-type: none"> - Wissen über Ökosysteme vertiefen und erweitern - „Umweltprobleme und deren Ursachen am Beispiel Klimawandel diskutieren und Lösungsmöglichkeiten im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung aufzeigen“ - „Einblick in das Spannungsfeld Ökologie – Ökonomie“
7. Klasse	-	-
8. Klasse	-	-

Bei näherem Betrachten der Tabellen 1 und 2 wird deutlich, dass es einer Lehrperson ab der 1. Klasse lehrplanmäßig möglich ist, Themen, die mit dem Klimawandel im Zusammenhang stehen, zu lehren. Wie bereits erwähnt, wird der Klimawandel wortwörtlich nur im Lehrplan der 6. Klasse genannt. Jedoch fordern bereits Bereiche in den vorherigen Schulstufen den Erwerb von Fach- und Bewertungskompetenzen, wenn es etwa um die Bemessung von Folgen menschlichen Handelns und deren Auswirkungen (2.- 4. Klasse) geht. Auch Diskussionen über Umweltprobleme sollten laut Lehrplan bereits ab der 1. Klasse geführt werden.

Zusammenfassend bietet der Lehrplan den PädagogInnen ab der Unterstufe viele Möglichkeiten, das Thema (anthropogener) Klimawandel im Unterricht zu behandeln und SchülerInnen mit fachlichen Grundlagen für das doch polymorphe Thema für die 6. Klasse auszustatten.

12. Schulbuchanalyse

Für die Analyse wurden je zwei Schulbücher pro Schulstufe herangezogen. Die Wahl fiel auf Exemplare, die derzeit im Unterricht Verwendung finden, für österreichische allgemein höher bildende Schulen approbiert sind und auch gemäß des aktuell gültigen Lehrplans 2004 verfasst wurden.

Bei den Unterstufenbüchern handelt es sich einerseits um „Biologisch 1 – 4“ und „Erlebnis Natur 1 – 4“, für die Untersuchung von Oberstufenbüchern wurden „Natura 5, 6 und 8“ und „Begegnungen mit der Natur 5, 6 und 8“ verwendet. Ein Band für die 7. Klasse ist bei den meisten Verlagen in Österreich nicht vorhanden, da der Biologieunterricht „nur“ in Oberstufenrealgymnasien bzw. Gymnasien mit naturwissenschaftlichem Zweig vorgesehen ist. Da allerdings in Kapitel 11 (Tab. 2) bei der Lehrplananalyse dargelegt wurde, dass keine klimawandelrelevanten Themen in der 7. Klasse zu lehren erforderlich sind, spielen die fehlenden Bände bei der Schulbuchanalyse wohl kaum eine Rolle.

12.1. Vorgehensweise bei der Analyse

Zu Beginn der Analyse wurde das Hauptaugenmerk auf das Inhaltsverzeichnis eines jeden Buches gelegt. Nicht nur Kapitel, welche die Bezeichnung „Klimawandel“ direkt enthielten, zog ich für den weiteren Arbeitsverlauf heran, sondern auch solche, die mit dem Begriff Klimawandel korrelierten. Dann galt es die Schwerpunkte der einzelnen Bücher und deren inhaltliche Parallelen und Unterschiede herauszufinden. Des Weiteren wurde auf inhaltliche Richtigkeit, altersadäquate Beschreibungen/ Erklärungen, Übersichtlichkeit und sinnvolle Abbildungen bzw. Tabellen geachtet. Auch Angaben über Temperaturänderungen, Treibhausgaskonzentrationen, Folgen der Klimaerwärmung etc. und klimatische Zukunftsprognosen wurden verglichen. Anschließend erfolgte ein Vergleich der Inhalte mit den Vorgaben des Lehrplans. Schlussendlich durchsuchte ich die Register der Schulbücher nach dem Begriff „Klimawandel“, um sicherzugehen, keine wichtigen Inhalte zum Thema Klimawandel übersehen zu haben.

12.2. Ergebnisse der Schulbuchanalyse

Die Resultate der Analyse werden im Folgenden klassenweise abgehandelt. Von den unter Kapitel 12.1. festgelegten Analysekriterien werden nur jene Ergebnisse aufgelistet werden, die überwiegend positiv oder negativ auffielen.

• 1. Klasse

Sowohl in „Biologisch 1“ als auch in „Erlebnis Natur 1“ werden, wie im Lehrplan festgelegt, der Bau und die Leistungen von Blütenpflanzen angeführt. Im Zuge dessen wird die Fotosynthese in altersgemäßer Einfachheit erklärt – also noch ohne Fotosynthesegleichung. Die Fotosynthese wird als Prozess dargestellt, bei dem Sauerstoff entsteht, und das von Mensch und Tier ausgeatmete Kohlendioxid aufgenommen wird. In „Biologisch 1“ wird zusätzlich Folgendes unterstützend hinzugefügt: „Ohne Pflanzen gäbe es weder Mensch noch Tier.“ (Gereben-Krenn, 2014a)

• 2. Klasse

Auch in den Schulbüchern der 2. Klasse wird die Fotosynthese abgehandelt, hier allerdings im Zusammenhang mit dem Ökosystem Wald, genauer gesagt in den Kapiteln „Stoffkreisläufe im Wald“ (Gereben-Krenn, 2012) bzw. „Sauerstoff- und Kohlenstoff-Kreislauf“ (Jaenicke, 2006b). Während beide Schulbücher über die Sauerstoffabgabe und Kohlendioxidaufnahme von Bäumen im Zuge der Fotosynthese aufklären, informiert „Erlebnis Natur 2“ die SchülerInnen auch über die Zellatmung. Im Anschluss daran wird auch erklärt, dass junge Bäume mehr CO₂ aufnehmen, da sie noch „mehr pflanzliche Substanz“ erzeugen würden, als sie „zur Energieumwandlung bei der Atmung verbrauchen“ (Jaenicke, 2006b, S. 94). Ergänzt wird diese Thematik mit folgender Aussage: „Ab einer gewissen Größe setzt ein Baum genauso viel Kohlenstoffdioxid bei der Atmung frei, wie er zur Fotosynthese benötigt.“ (Jaenicke, 2006b, S. 94).

Zwar scheint „Erlebnis Natur 2“ die Wichtigkeit des Waldes für den Verbrauch von Kohlendioxid, v.a. mithilfe von Jungwäldern, besser in den Vordergrund zu stellen, allerdings sind all die erwähnten Informationen innerhalb einer Viertel-Seite „verpackt“, was auf jeden Fall zusätzliche Erklärungen durch die LehrerInnen notwendig macht.

Weiters behandeln beide Bücher die Bedeutung des Waldes, wobei sie sich in der Auswahl der Schwerpunkte unterscheiden: Während „Biologisch 2“ den Wald als „Klimaverbesserer“ darstellt, indem Staub und Schadstoffe der Stadt von ihm gefiltert werden (Gereben-Krenn, 2012), holt „Erlebnis Natur“ hier weiter aus, schreibt dem Wald sogar „Klimaschutz“ zu, indem er dem steigenden Treibhauseffekt, der durch die Verbrennung von Erdöl etc. entsteht, entgegenwirkt. Zusätzlich wird auch erwähnt, dass die Rodung von Regenwäldern zu vermehrter Trockenheit der Umgebung führe (Jaenicke, 2006b). Die dazugehörige Erklärung ist kindgerecht und leicht verständlich.

Anschließend erläutern beide Bücher auch die Gefahren, die auf einen Wald einwirken können. Faktoren, die zum Klimawandel beitragen können, werden hier sehr ausführlich von „Biologisch 2“ angegeben: „Luftschadstoffe aus Haushalten, Verkehr und Industrie gefährden die Wälder. Schwefeldioxid und Stickoxide bilden mit dem Niederschlag Säuren.“ Daraufhin folgen die Schäden, die durch die Säuren auftreten. Auch die negative Wirkung von Ozon am Beispiel der Fichtenwälder wird beschrieben, wobei Ozon selbst nur als Gas bezeichnet wird, das bei starker Sonneneinstrahlung aus Autoabgasen entsteht. (Gereben-Krenn, 2012) „Erlebnis Natur 2“ gibt diesbezüglich nur den Satz „Der Mensch mit seinen Abgasen aus Verkehr, Haushalt und Industrie schädigt ebenfalls den Wald.“ an, der nicht weiter ausgeführt wird.

Beide Schulbücher sprechen also Themen an, die mit dem Klimawandel korrelieren. Auch der Lehrplanbezug ist hier klar feststellbar, indem negative Folgen menschlichen Wirkens anhand des Ökosystems Wasser betrachtet werden. Aufgrund dieser Ausführungen kann den SchülerInnen vor Augen geführt werden, wie wichtig der Schutz solcher Ökosysteme ist.

• 3. Klasse

Die Schulbücher für die 3. Klasse zeigen zwei Kapitel, die für das Verstehen des Klimawandels maßgeblich sind bzw. vor allem in den weiteren Schulstufen als Grundlage für das Durchnehmen des Themas Klimawandel dienlich sind. Einerseits erläutern beide Bücher wieder die Fotosynthese, heben aber die Wichtigkeit der Sauerstoffproduktion der Pflanzen für den Menschen hervor. Andererseits werden in den Kapiteln über die Evolution klimahistorische Veränderungen beschrieben, die den SchülerInnen die Auswirkungen natürlicher Klimafaktoren aufzeigen.

Detailliertere Ausführungen der eben genannten Großthemen werden in der folgenden Tabelle einander gegenübergestellt (Tab. 3), um einen besseren Überblick über die Unterschiede der beiden Schulbücher zu bekommen.

Tabelle 3: Klimawandelrelevante Themen in den untersuchten Schulbüchern

Biologisch 3 (Gereben-Krenn, 2013)	Erlebnis Natur 3 (Jaenicke, 2007)
<p><u>Ökosysteme</u></p> <p>- Fotosynthese, Zellatmung</p> <p>- „Pflanzen und Tiere sind voneinander abhängig“ (Gereben-Krenn, 2013, S. 73):</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Pflanzen selbst brauchen zwar Sauerstoff, aber produzieren die 5fache Menge als sie selbst brauchen → von Tier und Mensch eingeatmet ♦ Blätter eines Laubbaums im Sommer produzieren Sauerstoff für mehr als 20 Menschen 	<p><u>Acker und Hecke</u></p> <p>- Fotosynthese, Zellatmung:</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Sauerstoffentstehung bei Photosynthese → dient zur Atmung für Menschen, Tiere und Pflanzen, wobei Pflanzen nur einen geringen Teil davon brauchen
<p><u>Evolution</u></p> <p>- „Jedes Erdzeitalter hat seine Lebewesen“ (Gereben-Krenn, 2013, S. 6f.):</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Nutzung von O₂ (entstanden durch Cyanobakterien) für die Zellatmung vor 1,5 Mrd. Jahren ♦ Ozonschichtbildung in Anwesenheit von O₂ → ermöglichte „Existenz vieler Lebensformen“ ♦ Silur: erste Landpflanzen ♦ Karbon: riesige Sumpfwälder ♦ Ende Kreidezeit: Aussterben der Dinosaurier: „Als Ursache vermutet man den Einschlag eines riesigen Meteoriten mit zahlreichen Vulkanausbrüchen als Folge, wodurch das Klima verändert wurde.“ (Gereben-Krenn, 2013, S. 7): 	<p><u>Abstammungslehre</u></p> <p>- „Die Entwicklung des Lebens“ (Jaenicke, 2007, S. 83 ff.):</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Cyanobakterien produzierten Sauerstoff, der von manchen Lebewesen aufgenommen werden konnte → diese Lebewesen waren im Vorteil und entwickelten sich weiter ♦ erste Landpflanzen im Silur ♦ Karbon: „(...) ausgedehnte Wälder, aus denen nach ihrem Absterben die Steinkohle entstand.“ (Jaenicke, 2007, S. 84) ♦ Ende Kreide: vermutlich durch Meteoriteneinschlag plötzlich eintretende Klimaveränderung → Aussterben der Saurier und vielen anderen systematischen Gruppierungen ♦ vor 1,8 Mio. Jahren: deutlicher Temperaturrückgang (Eiszeitalter) ; Vereisung vieler Gebiete ♦ „Nach dem letzten Rückzug der Vereisung vor etwa 10 000 Jahren erhielt die Erde ihr heutiges Aussehen.“ (Jaenicke, 2007, S. 85)

Die Abhandlung des Themas Photosynthese ist in „Biologisch 3“ auf insgesamt drei Seiten zu finden, „Erlebnis Natur 3“ hingegen wendet nur eine Seite dafür auf. Allerdings ergänzt „Erlebnis Natur 3“ den Text mit zwei Abbildungen, die sowohl sehr anschaulich als auch verständlich gestaltet sind. In „Biologisch 3“ gefallen die Angaben über den Sauerstoffverbrauch der Pflanzen und des Menschen, da diese nicht einfach in Volumenangaben gemacht, sondern kindgerecht mit vergleichenden Beispielen (Tab. 3) beschrieben werden.

Während den SchülerInnen in beiden Büchern die Wichtigkeit von Pflanzen für die Sauerstoffproduktion gut präsentiert wird, gibt es im Zuge des Themas Evolution nur sehr oberflächliche oder keine Informationen, was das Thema Klimawandel betrifft. Erwartungsgemäß hätten im Zuge der Entstehungslehre in der 3. Klasse zumindest die Temperaturschwankungen erwähnt werden können, die sich im Laufe der Erdgeschichte zugetragen haben und die immer wieder zu Artensterben/Aufkommen neuer Arten, Sinken/Steigen des Meeresspiegels uvm. geführt haben. Beide Bücher erwähnen etwa das Vorkommen von Sumpfwäldern im Karbon, geben allerdings keine Ursachen für deren Entstehung an. Immerhin entstand daraus eines unserer wichtigsten Heizmaterialien.

Klimatische Veränderungen als Auslöser für Umweltveränderungen werden in beiden Büchern indirekt im Zusammenhang mit dem Aussterben der Dinosaurier am Ende der Kreidezeit genannt, für das ein Meteoriteneinschlag und Vulkanausbrüche als mögliche Ursachen angesehen werden. „Erlebnis Natur 3“ gibt des Weiteren an, dass es vor 1,8 Mio. Jahre. zu einer starken Vereisung kam, die sich letztlich vor 10 000 Jahren zurückzog und uns unsere heutige „Erde“ hinterließ.

Obwohl der Lehrplan der 3. Klasse mit den in Tab. 2 erwähnten Themen erfüllt wird, werden die diversen Erdzeitalter und ihre jeweiligen Geschehnisse sehr rar behandelt – „Biologisch 3“ widmet diesem Thema sogar nur zwei Seiten (exklusive Evolution des Menschen).

• 4. Klasse

Die Schulbücher der 4. Klasse unterscheiden sich hinsichtlich der Texte in Bezug auf den Klimawandel sehr stark. Während „Erlebnis Natur 4“ kaum relevante Themen zum Klimawandel bringt, lassen sich in „Biologisch 4“ viele Beiträge finden.

In „Erlebnis Natur 4“ ist im Zuge des Ökosystems Meer eine Seite angeführt, die als „Exkurs – Wissenswertes über das Meer“ (Jaenicke, 2008, S. 151) bezeichnet wird. Diese beinhaltet u.a. die Erklärung, wie Salz überhaupt in die Meere kommt; weiters wird darauf verwiesen, dass sich der „(...) Salzgehalt in den letzten 500 Millionen Jahren kaum mehr verändert [hat].“ und dass der Salzgehalt „(...) in den einzelnen Meeresregionen sehr unterschiedlich sein [kann]“. „Strömungen, Schichtungen, Sonneneinstrahlung und große Flüsse“ können den Salzgehalt beeinflussen (Jaenicke, 2008, S. 151).

Leider fehlt in diesem Zusammenhang der Hinweis, dass im Zuge der Klimaerwärmung der Salzgehalt durch Schmelzwasser sinken und es so zu einer Herabsetzung der ozeanischen Tiefenströme kommen kann. Dass der Salzgehalt durch Verdunstung von Meerwasser steigen kann, bleibt ebenfalls unerwähnt.

„Biologisch 4“ widmet dem Salzgehalt des Meerwassers einen Absatz im Großkapitel „Ökosystem Meer“. Gleich zu Beginn wird klargestellt, dass sich der Salzgehalt auf offenem Meer und nahe der Küste oft unterscheidet. Als Grund für eine geringere Salinität werden etwa „Regen, Flusswasser und das Abschmelzen von Gletschereis“ genannt. Eine höhere Salinität werde laut „Biologisch 4“ durch Verdunstung oder Eisbildung erreicht. (Gereben-Krenn, 2014b)

„Erlebnis Natur 4“ weist im Großkapitel „Die Stadt – ein künstliches Ökosystem“ darauf hin, dass ein Mensch im Vergleich zu einem Tier das 20fache an Energie (Haushalt, Industrie, Landwirtschaft und Verkehr) verbrauche, weshalb der Einsatz von fossilen Brennstoffen zur Energieabdeckung nötig sei (Jaenicke, 2008). Auf Folgen, die sich durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe einstellen, wird nicht eingegangen. Allerdings wird einige Absätze später der Treibhauseffekt besprochen, der im Zuge einer Schmutz- und Staubglocke über einer Stadt verstärkt werden kann, da die eintreffenden Sonnenstrahlen nicht mehr in die Atmosphäre reflektiert werden können. Auch wird die Nebelbildung über den Städten erklärt, indem sich Wasserdampf an Schmutzteilchen bindet. (Jaenicke, 2008)

„Biologisch 4“ beschreibt das „Ökosystem Stadt“ zwar wie „Erlebnis Natur 4“ als eine „Wärmeinsel“, zeigt auch in einer Abbildung die Entstehung einer Dunstglocke, gibt aber keine weiteren Erklärungen dazu ab (Gereben-Krenn, 2014b). Allerdings liefert „Biologisch 4“ auf zwei Seiten Informationen über den Klimawandel selbst und

beschreibt auf einer weiteren Seite die großen Meeresströmungen. Diese drei Seiten lassen sich unter der Rubrik „Seitenblicke“ finden. Zu Beginn des Schulbuches steht eine Erklärung, worum es sich bei den „Seitenblicken“ handelt: „Seitenblicke bieten interessante Informationen über den Kernstoff hinaus.“ (Gereben-Krenn, 2014b, S. 3) Die Eckpunkte dieser drei Seiten sind in Tabelle 4 ersichtlich.

Tabelle 4: Inhalte über den Klimawandel in "Biologisch 4"

Thema	Gliederung	Wichtige Aussagen
„Streifzug durch die Geografie“ (Gereben-Krenn, 2014b, S. 117)	<ul style="list-style-type: none"> - Beschreibung der Lage von Pazifik, Atlantik, Mittelmeer und Rotem Meer (inkl. einer Abbildung „Die Weltmeere) - Erläuterungen über große Meeresströmungen (inkl. einer Abbildung „Die großen Meeresströmungen“), Oberflächenströmungen, Tiefenströmungen und über den Golfstrom 	<ul style="list-style-type: none"> - Wassermassen in Bewegung durch unterschiedliche Temperaturen, Salzgehalte und durch den Wind - Erwärmung der Meere in tropischen Regionen stärker → überregionale Winde → Oberflächenströmungen - Abkühlung des Wassers in Richtung Pole - mehr Verdunstung im Atlantik → Salzgehalt höher, somit auch Wasserdichte → Tiefenströme entstehen, die kaltes Wasser wieder nach Süden bringen - Golfstrom, der warmes Wasser in Nordatlantik bringt → mildes Klima in West- und Mitteleuropa
„Klimawandel und globale Erwärmung“ (Gereben-Krenn, 2014b, S. 124 f.)	<ul style="list-style-type: none"> - Einleitung: laut ExpertInnen der Vereinten Nationen werde Meeresspiegel in den nächsten Jahrzehnten bis zu 58 cm ansteigen (Malediven liegen nur etwa 1m über dem Meeresspiegel) - Auswirkungen von Wetter und Klima auf den Menschen - Definition „Klima“ - Klimageschichte 	<ul style="list-style-type: none"> - Ernteausfälle, Überschwemmungen, Lawinen - „Das Klima ist der Ablauf des Wetters an einem Ort während einer längeren Zeitspanne.“ - Es gab Zeiträume, in denen die Temperaturen tiefer aber auch höher

		waren als heute.
	- Natürlicher Klimawandel	- Ursachen: z. B. Erdumlaufbahn um Sonne, Treibhausgase, die Temperatur in den unteren 10 000 m der Atmosphäre (ohne Treibhausgase – 18 Grad, heute mit Treibhausgasen 15 Grad)
	- Globale Erwärmung	- seit der Industriellen Revolution stieg CO ₂ -Wert (durch Verbrennung fossiler Brennstoffe), Methan (durch Reisanbau und Wiederkäuer) - Anstieg der Temperatur um 0,6 Grad in den letzten hundert Jahren
	- Folgen der Erderwärmung	- Eisflächen im Meer schrumpfen, Dicke des Eises um 40 % gesunken, Meeresspiegelanstieg durch Erwärmung der Meere - Anstieg des Meeresspiegels um 10 cm in den letzten 100 Jahren - Niederschläge sinken in Äquatornähe und steigen in höheren Breiten - Alpen: Gletscherrückgang - bis 2100 Temperaturanstieg um 1,5 bis 5 Grad
	- Zukunftsprognosen	- Meeresspiegelanstieg um 50 cm bis 2100
	- Kyoto-Protokoll	

„Biologisch 4“ stellt als einziges Schulbuch einen groben Überblick über den Klimawandel dar, obwohl dies im Lehrplan nicht eindeutig gefordert wird. Wie in Tab. 4 ersichtlich, werden die wichtigsten Eckpunkte des Klimawandels angesprochen. Zuerst wird der Begriff „Klima“ definiert und es wird erklärt, dass auch natürliche Faktoren das Klima beeinflussen können. Danach werden Ursachen, Folgen und Zukunftsprognosen des anthropogenen Klimawandels geschildert und mit Zahlen unterstützt. Während die bisherigen und die zukünftigen Temperaturanstiege jenen

Zahlen des 5. IPCC-Berichts gleichen, unterscheiden sich beim Anstieg des Meeresspiegels die Angaben: In „Biologisch 4“ wird ein Meeresspiegelanstieg von 10 cm in den letzten 100 Jahren angegeben, hingegen ist im IPCC-Bericht von einem Anstieg von 19 cm zwischen 1901 und 2010 die Rede ist (IPCC, 2016).

Zusätzlich fällt eine Unstimmigkeit im Text von „Biologisch 4“ auf, in dem einmal in der Einleitung von einem Meeresspiegelanstieg von 58 cm in den nächsten Jahrzehnten gesprochen wird, ein anderes Mal wird von einem Anstieg von 50 cm bis 2100 gesprochen (Gereben-Krenn, 2014b). Im IPCC-Bericht wird von einem möglichen Meeresspiegelanstieg zwischen 26 und 55 cm bis 2100 geschrieben (IPCC, 2016).

Prinzipiell gefällt der Text über den Klimawandel in „Biologisch 4“ sehr gut und könnte gut als Grundlage für den Unterricht verwendet werden, wenn man im Zuge des Erweiterungsstoffes das Thema Klimawandel abhandeln möchte.

• 5. Klasse

Die untersuchten Schulbücher der Oberstufe („Natura 5“ und „Begegnungen der Natur 5“) führen beide den Ablauf der Fotosynthese sehr genau aus (Primärreaktion, Sekundärreaktion) (Biegl, 2013; Kadlec, 2006).

Weiters werden in beiden Büchern im Zuge des Kapitels „Ökologie“ die Entwicklung der Weltbevölkerung und die damit verbundenen Probleme besprochen. Beide Bücher fügen dem Text je eine Abbildung hinzu, die in „Begegnungen mit der Natur 5“ eine Zukunftsprognose bis 2050 anstellt, hingegen „Natura 5“ nur eine Schätzung bis 2025 angibt. Die Schätzungen über die zukünftigen Bevölkerungsentwicklungen sind aber in beiden Büchern nahezu ident: Für das Jahr 2025 rechnen beide mit etwa 8,5 Mrd. Menschen, „Begegnungen mit der Natur 5“ gibt für 2050 eine Schätzung von etwa 10 Mrd. Menschen ab. Die Bevölkerungszunahme wird in „Natura 5“ ab dem Jahr 1650 angegeben, hingegen beginnt „Begegnungen mit der Natur 5“ erst mit dem Jahr 1800. „Natura 5“ bindet in den Text allerdings auch Informationen über die Schätzung der Bevölkerungsanzahl vor Zeiten des Ackerbaus und der Viehzucht ein (bis zu 10 Mio. Menschen.). Des Weiteren wird darauf verwiesen, dass erst Ackerbau und Viehzucht die Bevölkerungszahl ansteigen ließ. Als weitere Faktoren, die ein Bevölkerungswachstum ermöglichten, werden „Weiterentwicklung in der Pflanzen- und Tierzucht, die Verwendung von Düngemitteln und eine effektive Bewässerung“

angeführt. (Kadlec, 2006)

„Begegnungen mit der Natur 5“ erwähnt Gründe für das Bevölkerungswachstum erst ab Ende des 2. Weltkrieges.

Obwohl „Natura 5“ zwar weiter in die Geschichte zurückblickt, fehlen in beiden Büchern klimageschichtliche Informationen, die ein Bevölkerungswachstum erst möglich machten. So sollte als Beispiel etwa das Ende der letzten Eiszeit genannt werden, ab der die Menschen überhaupt erst Ackerbau und Viehzucht - klimatisch gesehen - betreiben konnten.

Folgen der hohen Bevölkerungsanzahl werden in beiden Schulbüchern mannigfach erläutert, darunter befinden sich auch einige, die sich auf den Klimawandel auswirken (Tab. 5).

Tabelle 5: Folgen des Bevölkerungswachstums auf das Klima im Vergleich zwischen "Begegnungen mit der Natur 5" und "Natura 5"

„Begegnungen mit der Natur 5“ (Biegl, 2013)	„Natura 5“ (Kadlec, 2006)
Massentierhaltung nimmt zu → Bedarf an Nutzflächen für Tierfutter steigt	landwirtschaftliche Nutzfläche steigt
-	Luft- und Wasserverschmutzung nimmt zu
Umweltbelastung durch Lebensmitteltransport: CO ₂ -Ausstoß steigt → Anreicherung der Atmosphäre mit mehr CO ₂ → Erhöhung des Treibhauseffekts → Klimaerwärmung schreitet voran	Energieaufwand für Transport der erzeugten Lebensmittel nimmt zu
Verbrauch von Erdöl durch vermehrten Treibstoffbedarf im Schwerverkehr	Verbrauch an fossilen Brennstoffen sehr hoch

Obwohl beide Bücher indirekt wichtige Faktoren nennen, die einen Klimawandel bewirken können, werden in „Begegnungen mit der Natur 5“ nur wenige bzw. in „Natura 5“ keine konkreten Wirkungen auf das Klima genannt.

So wird in beiden Büchern zwar über die Zunahme von Nutzflächen wegen der stetig steigenden Bevölkerungszahl geschrieben, jedoch wird mit keinem Wort erwähnt, worauf sich eine Zunahme der Nutzflächen negativ auswirken kann. Folgen wie das Roden von Regenwäldern und einem damit einhergehenden Eingriff in den Kohlenstoffkreislauf bzw. einer veränderten Albedo sollten hier auf jeden Fall erwähnt werden.

Ferner merken beide Bücher einen vermehrten Verbrauch fossiler Brennstoffe an.

„Begegnungen mit der Natur 5“ gibt allerdings nur LKW als CO₂-Produzenten an und

lässt den ansteigenden CO₂-Ausstoß von PKW, deren Anzahl durch das Bevölkerungswachstum ebenfalls zunimmt, unerwähnt. „Natura 5“ flechtet in den Lehrtext ein, dass der Verbrauch an fossilen Brennstoffen so hoch sei, dass etwa das Erdöl bis 2100 zu Neige gehen könnte, übergeht aber die Nennung deren Verbraucher. Immerhin spricht „Begegnungen mit der Natur 5“ die Wirkung des Kohlenstoffdioxids in der Atmosphäre an und gibt in einer nebststehenden Spalte die Begriffserklärungen für „Treibhauseffekt“ und „Klimaerwärmung“ an.

• 6. Klasse

Einzig im Lehrplan der 6. Klasse wird der Auftrag des Lehrens über den Klimawandel an die Lehrperson erteilt (Tab. 2) und in den Schulbüchern auch dementsprechend großzügig umgesetzt.

Beide Bücher widmen sich dem Thema Klimawandel bzw. indirekt dazugehörig auch dem Aufbau der Erde, deren Stellung im All und deren plattentektonischen Aktivitäten im Zuge des Kapitels „Bioplanet Erde“. „Natura 6“ verwendet für die Aufbereitung des Themas insgesamt 9 Seiten, „Begegnungen mit der Natur 6“ hingegen 14 Seiten.

Im Folgenden werden Themen, die in beiden Büchern gleich behandelt werden und für den Klimawandel relevant sind, überblicksmäßig zusammengefasst.

- Rotation der Erde verursacht Tag-Nacht-Rhythmus, Perihel und Aphel (Biegl, 2014; Kadlec, 2008)
- Neigung der Rotationsachse beträgt 23,5°, die die Jahreszeiten verursacht (Biegl, 2014; Kadlec, 2008)
- Schalenbau der Erde inkl. kontinentaler und ozeanischer Platte (Biegl, 2014; Kadlec, 2008)
- Zusammensetzung der Atmosphäre, Funktion der Troposphäre (Wettergeschehen), Stratosphäre (Biegl, 2014; Kadlec, 2008)
- Treibhauseffekt: Gegenüberstellung von natürlichem und anthropogenem Treibhauseffekt (heutige globale Mitteltemperatur: 15 °C, Temperatur ohne Treibhauseffekt: - 18 °C) (Biegl, 2014; Kadlec, 2008)

Beide Schulbücher nennen Folgen des bereits erfolgten Klimawandels, wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß (Tab. 6). Allerdings erwähnen beide Bücher die wichtigsten bzw. gravierendsten Folgen.

Tabelle 6: Folgen des Klimawandels in Begegnungen mit der Natur 6 und Natura 6

	„Begegnungen mit der Natur 6“ (Biegl, 2014)	„Natura 6“ (Kadlec, 2008)
Gegenwärtige Temperaturerhöhung	✓	✓
Zukünftige Temperaturerhöhung		✓
Schmelzen der Permafrostböden	✓	✓
CO ₂ - und CH ₄ -Freisetzung durch Schmelzen der Permafrostböden	✓	✓
Polschmelze Arktis	✓	✓
Meeresspiegelanstieg	✓	✓
Gletscherschmelze	✓	✓
Zunahme von Wirbelstürmen		✓
Unbewohnbarkeit von trockenen Gebieten	✓	
Waldsterben	✓	
Ernteverluste	✓	

Eine weitere Folge des Klimawandels – die Entstehung von Ozonlöchern –, die im Unterricht allein aufgrund der negativen Wirkungen auf die Gesundheit des Menschen nicht unerwähnt werden lassen sollte, wird in folgendem Umfang in beiden Büchern abgehandelt (Abb. 7):

Tabelle 7: Thema "Ozon" in den beiden analysierten Schulbüchern

„Begegnungen mit der Natur 6“ (Biegl, 2014)	„Natura 6“ (Kadlec, 2008)
<ul style="list-style-type: none"> - Ozonschicht als Schutz vor kurzwelliger Strahlung auf der Erde - Entstehung der Ozonschicht (inkl. chemischer Reaktionsformeln) - Abbau der Ozonschicht (inkl. chemischer Reaktionsformeln) - Ozonlochentstehung in den 1980ern über der Antarktis durch FCKW - Folgen eines Ozonlochs auf Mensch, Tier und Pflanzen - FCKW-Verbot im Zuge des Montrealer Protokolls; verbesserte Ozonwerte durch Verbot 	<p>„Geschützt gegen kosmische Strahlung wird die Erde durch die in der Stratosphäre liegende Ozonschicht.“</p>

- Entstehung von bodennahem Ozon und dessen Folgen auf Mensch und Pflanzen	
--	--

„Natura 6“ behandelt Ozon in nur einem Satz, lässt die SchülerInnen aber im Unklaren darüber, wie die Ozonschicht entsteht bzw. wodurch sie zerstört werden kann. Auch die daraus resultierenden Folgen lassen sich in diesem Schulbuch nicht finden.

„Begegnungen mit der Natur 6“ widmet diesem Thema sogar zwei Seiten, die gut strukturiert sind und trotz des Detailreichtums verständlich bleiben.

Raum werden auch den Treibhausgasen in beiden Schulbüchern gegeben, wenn auch in unterschiedlicher Art und Weise. „Begegnungen mit der Natur 6“ informiert v.a. über die Auswirkungen von CO₂ und CH₄ und deren Quellen, gibt aber auch kurze Auskünfte über N₂O, FCKW und bodennahes Ozon. Die Abhandlung der Treibhausgas-Informationen erfolgt in Form eines Fließtextes, der sehr übersichtlich und prägnant gestaltet ist.

Mit der Angabe von Zahlen bzgl. der Treibhausgaswerte wird in „Begegnungen mit der Natur 6“ zwar gespart, was allerdings nicht als negativ angesehen werden soll, da die wichtigsten Werte angegeben werden und es dadurch bei den SchülerInnen wohl weniger zu Unklarheiten kommt. So wird für CO₂ etwa nur der Anteil an der rezenten Atmosphärenenerwärmung (50 %), der gestiegene Wert seit Beginn des Industriezeitalters (von 0,028 % auf 0,04 %) und eine Schätzung des Temperaturanstiegs um 3 °C bei Verdoppelung des vorindustriellen Wertes auf 0,056 % genannt. Bei der Abhandlung über Methan wird nur angeführt, dass es sich hierbei um das zweitwichtigste Treibhausgas handelt. (Biegl, 2014)

Im Gegensatz dazu gibt es in „Natura 6“ eine eigene Tabelle, die für CO₂, CH₄, N₂O, FCKW und Schwefelhexafluorid jeweils folgende Informationen angibt:

Verweildauer in der Atmosphäre, vorindustrielle Konzentration in der Atmosphäre, Konzentration in der Atmosphäre 1998 und primäre Quellen. (Kadlec, 2008)

Abgesehen davon, dass dies für die SchülerInnen eine Flut an Zahlen darstellt, fällt an dieser Stelle vor allem die Datierung der Treibhausgaskonzentrationen vom Jahre 1998 auf, die immerhin schon 18 Jahre zurückliegt. Dabei muss allerdings auch an das Jahr der Herausgabe dieses Schulbuches – nämlich 2008 – verwiesen werden, weshalb keine aktuellen Zahlen gefordert werden können.

Verwirrend wirkt in „Natura 6“ jedoch noch etwas anderes: Die bisher aufgezählten

Informationen werden in deutscher Sprache abgefasst, weitere Angaben über den Klimawandel werden hingegen in englischer Sprache erläutert. Dies ist zwar einerseits loblich, da somit auch die Fachsprache Englisch im Gegenstand Biologie geübt wird, allerdings werden in diesem fremdsprachigen Text Informationen angegeben, die bereits im vorherigen Kapitel auf Deutsch angeführt wurden; so z.B. die wichtigsten Treibhausgase.

Von beiden Büchern werden auch Ziele der Klimakonferenzen in relativ gleichem Ausmaß behandelt, wobei auch hier „Begegnungen mit der Natur 6“ aktueller erscheint, indem es als letzte Klimakonferenz jene in Doha nennt (2012) (Biegl, 2014), „Natura“ hingegen jene in Kyoto (1997) (Kadlec, 2008).

Ein großes Kapitel, das v.a. für das Verstehen der klimatischen Änderungen im Laufe der Erdgeschichte maßgeblich ist, ist die Plattentektonik, die in beiden Schulbüchern ausführlich behandelt wird.

„Begegnungen mit der Natur 6“ gibt zuerst genaue Informationen über die unterschiedlichen Platten, die Ursache der Bewegung der Platten, die Bildung mittelozeanischer Rücken und eines Grabenbruchs und über die Entstehung von Subduktion und deren möglichen Folgen. Anschließend wird die Plattentektonik der Erdgeschichte genauer betrachtet, beginnend im Paläozoikum, endend im Pleistozän (Biegl, 2014). „Natura 6“, das dieses Kapitel wieder in englischer Sprache ausführt, setzt erst am Ende des Paläozoikums mit der Information über die Plattentektonik ein und endet mit der Anmerkung, dass auch heutzutage die Platten noch in Bewegung sind (Kadlec, 2008).

In beiden Büchern sind zusätzlich Abbildungen hinzugefügt, die den Text unterstützen sollen. Während „Begegnungen mit der Natur 6“ fünf Abbildungen von beschrifteten Landkarten im Laufe der Erdgeschichte (ab vor 540 Mio. Jahren bis vor 50 000 Jahren) zeigt, sind in „Natura 6“ nur drei unbeschriftete Landkarten (ab vor 220 Mio. Jahren bis vor 50 Mio. Jahren) zu sehen.

Negativ angemerkt soll an dieser Stelle jedoch werden, dass zwar plattentektonische Veränderungen im Laufe der Geschichte genannt werden, aber in keinem Buch angeführt wird, welche Auswirkungen diese Änderungen mit sich brachten.

Abschließend betrachtet, werden in beiden Schulbüchern der 6. Klasse wichtige Angaben über den Klimawandel, den Planeten Erde und deren Plattentektonik gemacht,

jedoch mit unterschiedlichen Schwerpunkten. „Begegnungen mit der Natur 6“ liefert den SchülerInnen jedoch einen besseren Überblick – auch aufgrund des Layouts – und bietet aktuellere Informationen als „Natura 6“.

IV. Maturafrage der mündlichen Matura

13. Elemente mündlicher Maturaaufgaben

Die standardisierte Reifeprüfung besteht aus einem 3-Säulen-Modell, welches die vorwissenschaftliche Arbeit, die schriftliche Reifeprüfung und die mündliche Reifeprüfung vorsieht. Für Letztere soll im Rahmen dieser Diplomarbeit eine Maturafrage über das Thema Klimawandel erstellt werden, um zu zeigen, dass anhand dieses Themas kompetenzorientierte Fragestellungen möglich sind.

Maturafragen sollen nämlich nicht nur mehr das reine Wissen der SchülerInnen überprüfen, sondern auch aufzeigen, dass SchülerInnen über bestimmte Handlungskompetenzen verfügen. Darunter versteht man etwa, „(...) Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen [zu können]“, „(...) zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen bzw. Hypothesen aufstellen [zu können]“ oder „(...) fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren und naturwissenschaftliche von nicht-naturwissenschaftlichen Argumentationen und Fragestellungen unterscheiden [zu können]“. (BMBF Die kompetenzorientierte Reifeprüfung, 2016)

Deshalb sollten in jeder Maturafrage Aufgaben gestellt werden, die die drei Bereiche Reproduktion, Transfer und Reproduktion/Problemlösung abdecken, um der/dem SchülerIn die Möglichkeit zu bieten, seine Handlungskompetenzen zu demonstrieren.

Für die Bearbeitung der Maturafragen haben die SchülerInnen ca. 20 Minuten Zeit, für die Beantwortung der Fragen minimal 10 Minuten, maximal 20 Minuten.

14. Maturafrage zum Thema Klimawandel

[Schullogo]

Mündliche Reifeprüfung
aus Biologie und Umweltkunde

[Frage X]

Mag. Max Mustermann

1.

a.) Erklären Sie, wie das Gewächshaus auf der nebenstehenden Abbildung mit dem natürlichen Treibhauseffekt verglichen werden kann.

b.) Stellen Sie sich einen sonnigen Frühlingstag vor und zeichnen Sie den dementsprechenden Energiefluss ein, der im und um das Gewächshaus entsteht.



Abbildung 42: Gewächshaus (OBI, 2016)

2.

a.) Stellen Sie die unterschiedliche Wirkungsweise von Methan (CH_4) und Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) auf das Klima einander gegenüber!

b.) Nennen Sie unter Anlehnung an das untenstehende Bild zwei weitere Treibhausgase und geben Sie ihre Primärquellen an.



Abbildung 43: Autoabgase (Tagesspiegel, 2016)

3. Diskutieren Sie mögliche zukünftige Folgen des Klimawandels, die auf Sie und Ihre Umwelt in Österreich einwirken könnten!



Abbildung 44: Cartoon (39 Punkt, 2016)

ERWARTUNGSHORIZONT Maturafrage

1.

a. Nur ein Teil der solaren Strahlung trifft auf die Erdoberfläche, da der Rest von Treibhausgasen wie z.B. Wasserdampf und Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre absorbiert wird. Die auf der Erdoberfläche ankommende Strahlung wird zum Teil absorbiert, zum anderen Teil wieder in die Atmosphäre reflektiert.

Dies würde eine Temperatur von -18 Grad Celsius auf der Erde ergeben. Tatsächlich hat es auf der Erde $+15$ Grad Celsius, die dadurch zustande kommt, dass die Treibhausgase die terrestrische Strahlung absorbieren und die Wärme somit in der Atmosphäre verbleibt.

b.



2.

a. Methan: Gelangt vermehrt Methan in die Atmosphäre, führt das zu einem erhöhten Treibhauseffekt, indem Methan terrestrische Strahlung absorbiert und somit zu einer Erwärmung der Atmosphäre führt. Methan ist nach CO_2 jenes Treibhausgas, das am meisten zur Klimaerwärmung beiträgt. Obwohl es eine weit kürzere Verweildauer in der Atmosphäre hat als andere Treibhausgase, hat sein hohes Treibhauspotential (hohe Absorptionsrate) eine hohe Klimawirkung.

FCKW: FCKW werden in der Atmosphäre von der Sonne aufgespalten und bilden u.a. Chlorkradikale. Diese gehen mit Ozon weitere Reaktionen ein, was zum Abbau der Ozonschicht führt und zu Ozonlöchern führt.

Die Ozonschicht dient als Schutzschicht vor kurzwelliger Strahlung für Lebewesen auf der Erde. Beim Menschen führt die kurzwellige Strahlung beispielsweise zu erhöhtem Hautkrebsrisiko oder einem geschwächtem Immunsystem.

b. Zum Beispiel:

CO₂: Verbrennung fossiler Energieträger, Hausbrand, Verkehr, Fabriken etc.

N₂O: Stickstoffdüngung, Brandrodung etc.

3. Folgen: Extremwetterereignisse könnten zunehmen (Stürme, Überschwemmungen, Gewitter), die Leben gefährden könnten, Häuser zerstören könnten und immense Kosten durch Schäden verursachen könnten.

Die Klimaerwärmung verschiebt die Vegetationsperioden bzw. verlängert sie → längere Leidensperiode für Pollenallergiker, mehr Schädlingsplagen

Änderung des Artenbestandes im Tier- und Pflanzenreich.

Durch Steigen des Meeresspiegels oder durch vermehrte Trockenperioden um den Äquator werden mehr Wirtschaftsflüchtlinge nach Österreich kommen.

Literaturverzeichnis

Aigner, S., (2015). Unser Essen: Wie funktioniert die Lebensmittelindustrie?, Telepolis, Hannover

Biegl, C., (2013). Begegnungen mit der Natur 5, 1. Auflage, öbv, Wien

Biegl, C., (2014). Begegnungen mit der Natur 6, 1. Auflage, öbv, Wien

Bubenzer, O., Radtke, U., (2007). Natürliche Klimaänderungen im Laufe der Erdgeschichte. In: Endlicher, W., Gerstengarbe, F. (Hrsg.). Der Klimawandel- Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam, 17 - 26

Buggisch, W., Walliser, O.H. (2001) Erdgeschichte als Klimageschichte. In: Huch, M. (Hrsg.) Klimazeugnisse der Erdgeschichte. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, 17- 49

Conard, N., (2001). Quaternary Environmental Change and its Effects on Human Evolution and Human Biogeography. In: Parthier, B. (Hrsg.) Nova Acta Leopoldina. Klimawechsel vor dem Einfluß des Menschen. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina: Halle (Saale), 88. Band, 225 - 229

Gereben-Krenn B., Jaenicke, J., Jungbauer, W., (2014b). Biologisch 4, 12. Auflage, E. Dorner, Wien

Gereben-Krenn, B., Jaenicke, J., Jungbauer, W., (2014a). Biologisch 1, 10. Auflage, E. Dorner, Wien

Gereben-Krenn, B., Jaenicke, J., Jungbauer, W., (2012). Biologisch 2, 12. Auflage, E. Dorner, Wien

Gereben-Krenn, B., Jaenicke, J., Jungbauer, W., (2013). Biologisch 3, 10. Auflage, E. Dorner, Wien

Gerth, J., Förstner, U., (1992). Die Belastung von Böden. In: Huch, M. (Hrsg.) Tatort Erde: Menschliche Eingriffe in Naturraum und Klima. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, 51- 72

Haug, G., Tiedemann, R., Schulz, M., (2001). What caused the Onset of Major Northern Hemisphere Glaciation 3 Million Years ago? In: Parthier, B. (Hrsg.) Nova Acta Leopoldina. Klimawechsel vor dem Einfluß des Menschen. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina: Halle (Saale), 88. Band, 21- 29

Jaenicke, J., Schirl, K., (2006a). Erlebnis Natur 1, 1. Auflage, E. Dorner, Wien

Jaenicke, J., Schirl, K., (2006b). Erlebnis Natur 2, 1. Auflage, E. Dorner, Wien

Jaenicke, J., Schirl, K., (2007). Erlebnis Natur 3, 1. Auflage, E. Dorner, Wien

Jaenicke, J., Schirl, K., (2008). Erlebnis Natur 4, 1. Auflage, E. Dorner, Wien

Kadlec, V., Dördelmann, K., (2008). Natura 6, 1. Auflage, öbv, Wien

Kadlec, V., Dördelmann, K., (2007). Natura 8, 1. Auflage, öbv, Wien

Kadlec, V., Dördelmann, K., (2006). Natura, 5. Auflage, öbv, Wien

Küll, C., (2009). Grundrechtliche Probleme der Allokation von CO₂-Zertifikaten. Natur und Recht, Schriftenreihe Band 10

Mortimer, C., Müller, U., (2010). Chemie: Das Basiswissen der Chemie, 11. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Mudur, G., (2010). Atemlos in der Großstadt. In: *Max Planck Forschung: Fokus Indien*. Nr. 4, S. 18 – 25

Riener, K., Kühn, F., (2014). [CO₂ – Baustein des Lebens und Treiber der globalen Erwärmung](#). *Chemie in unserer Zeit*, Nr. 48, S. 260 ff.

Rösener, W., (2010). Das Wärmeoptimum des Hochmittelalters. Beobachtungen zur Klima- und Agrarentwicklung des Hoch- und Spätmittelalters. *Zeitschrift für Agrargeschichte und Agrarsoziologie*, Nr. 1, S. 13.

Internetquellen

Duwe, K., Panama Info. <http://www.panama-info.net/Geographie/Isthmus.html> [Zugriff am 23.10.2015]

Ökolog Niederösterreich, Klima Golfstrom. <http://www.umweltbildung.at/cms/download/675.pdf> [Zugriff am 26.10.2015]

Wetter-Observer <http://wetter-observer.de/halbjaehrliche-updates-aktuelle-sonnenaktivitaet/> [Zugriff am 10.1.2016]

Ama-Marketing, http://www.ama-marketing.at/home/groups/7/Pro_Kopf_Verbrauch_Fleisch.pdf [Zugriff am 5.1.2016]

BMBF Die kompetenzorientierte Reifeprüfung https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/ba/reifepruefung_ahs_lfbio_21976.pdf?4k21fw [Zugriff am 17.4.2016]

BMBF Lehrpläne der AHS-Oberstufe Biologie und Umweltkunde https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_08_11860.pdf?4dzgm2 [Zugriff am 24.1.2016]

BMBF Lehrpläne der AHS-Unterstufe Biologie und Umweltkunde https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs5_779.pdf?4dzgm2 [Zugriff am 5.5.2016]

Deutsche IPCC Koordinierungsstelle, Der 5. IPCC-Sachstandsbericht. <http://www.de-ipcc.de/de/200.php> [Zugriff am 5.1.2016]

Earth System Research Laboratory <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/index.html> [Zugriff am 13.1.2016]

Fakultät für Physik. https://www.univie.ac.at/physikwiki/index.php/LV050:LV-Uebersicht/SS_10/Milankovitch-Zyklen [Zugriff am 29.10.2015]

IPCC: Klimaänderung 2013, Wissenschaftliche Grundlagen http://www.de-ipcc.de/media/IPCC_AR5_WG1_SPM_deutsch_WEB.pdf [Zugriff am 12.1.2016]

Jacobeit, J., Zusammenhänge und Wechselwirkungen im Klimasystem. In: Endlicher, W., Gerstengarbe, F. (Hrsg.). *Der Klimawandel - Einblicke, Rückblicke und Ausblicke*. Potsdam: 2007, 1 - 16 https://www.pik-potsdam.de/services/infothek/buecher_broschueren [Zugriff am 22.2.2016]

Klett- Verlag, Geologische Zeittafel

http://www2.klett.de/sixcms/media.php/229/Geologische_Zeittafel.pdf [Zugriff am 12.09.2015]

Röpke, L., Lippelt, J., Kurz zum Klima: Bodenversiegelung in Deutschland und Europa, *ifo Schnelldienst 67 (03)*, 2014, S. 60-63 <http://www.cesifo-group.de/de/ifoHome/infoservice/News/2014/02/news-20140213-ifo-Schnelldienst-03-2014.html> [Zugriff am 10.1.2016]

Spektrum, Es bleibt ein Loch ohne Boden <http://www.spektrum.de/news/25-jahre-fckw-verbot-wie-steht-es-um-das-ozonloch/1352353> [Zugriff am 10.1.2016]

ZAMG Vulkane http://zamg.ac.at/docs/aktuell/vulkane_und_klima.pdf [Zugriff am 24.1.2016]

ZAMG Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimasystem/antriebe/vulkane> [Zugriff am 10.1.2016]

Bildquellen

39 Punkt <http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/newsblog-zum-abgas-skandal-bei-volkswagen-vw-chef-martin-winterkorn-will-nicht-zuruecktreten/12351882.html> [Zugriff am 30.4.2016]

Berliner Zeitung: <http://www.berliner-zeitung.de/wissen/globale-erwaermung-der-golfstrom-wird-deutlich-schwaecher,10808894,30199434.html> [Zugriff am 23.10.2015]

OBI

http://www.obi.at/decom/product/Gewaechshaus_Calypso_3000_HKP_4_mm_inkl._Fundament/4372819 [Zugriff am 30.4.2016]

Paeger, J., Ökosystem Erde: <http://www.oekosystem-erde.de/html/klimageschichte.html> [Zugriff am 27.10.2015]

Stiftung Weltbevölkerung: <http://www.weltbevoelkerung.de/publikationen-downloads/publikationen.html> [Zugriff am 10.1.2016]

Tagesspiegel <http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/newsblog-zum-abgas-skandal-bei-volkswagen-vw-chef-martin-winterkorn-will-nicht-zuruecktreten/12351882.html> [Zugriff am 30.4.2016]

United States Census Bureau: <https://www.census.gov/population/international/> [Zugriff am 3.1.2016]

Vademecum <http://vademecum.brandenberger.eu/themen/klima-1/co2.php> [Zugriff am 14.1.2016]

Zachos, J., Pagini, M., Sloan, L., Trends, Rhythms, and Abberations in Global Climate 65 Ma to Present:
http://www.essc.psu.edu/essc_web/seminars/spring2006/jan18/Zachosetal.pdf [Zugriff am 28.10.2015]

ZAMG https://www.zamg.ac.at/cms/de/images/klima/bild_ip-klimawandel/klimasystem/geosphaeren/2-1-1_2_plattengrenzen [Zugriff am 30.1.2016]

Conclusion

In der vorliegenden Arbeit wurden 126 Kinder und Jugendliche – etwa gleich viele aus der Unter- und Oberstufe – zum Thema Klimawandel befragt. Dabei gaben die OberstufenschülerInnen mehr Antworten als die UnterstufenschülerInnen. Auch die Antworten der Jugendlichen aus der Oberstufe waren zu einem größeren Prozentsatz richtig, als jene der jüngeren SchülerInnen. Grund hierfür ist die längere Ausbildung.

Erfreulich war, dass gut 75 % der SchülerInnen vor der Befragung angaben, Interesse an diesem Thema zu haben. 35 % aller Befragten meinten nach der Befragung sogar mehr über dieses Thema zu wissen.

Als häufigste Informationsquellen wurden die Schule, v.a. das Unterrichtsfach Biologie, und das Fernsehen genannt.

Verbesserungsbedarf bei Informationen sehe ich größtenteils im Ablesen von Diagrammen und Landkarten, auch wenn Letzteres eher im Geographieunterricht gelehrt werden sollte. An dieser Stelle könnte man als Lehrperson mit den LehrerInnen anderer Fächer zusammenarbeiten und fächerübergreifenden Unterricht durchführen.

Im Zuge der Schulbuchanalyse fiel mir auf, dass der Klimawandel anhand vieler Themen im Unterricht angesprochen werden kann, auch wenn das Thema Klimawandel selbst nur selten in den analysierten Schulbüchern vorkommt.

Durch die intensive Auseinandersetzung mit Literatur über Klimaveränderungen wurde mir verdeutlicht, welchen großen Umfang dieses Thema für den Schulunterricht bietet und wie gut es auch für die Matura einsetzbar ist.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schichten der Atmosphäre und deren Höhenlage.....	3
Abbildung 2: Veränderungen der Kontinente seit dem Präkambrium bis heute	13
Abbildung 3: Temperatur- und Kohlendioxidschwankungen vor 600 Mio. Jahren bis 65 Mio. Jahren vor heute.....	15
Abbildung 4: Querschnitt durch die für die Plattentektonik relevanten Schichten der Erde inklusive Folgen plattentektonischer Aktivitäten.....	17
Abbildung 5: Temperaturschwankungen im Paläogen bis ins untere Neogen	19
Abbildung 6: Temperaturschwankungen im Pliozän und Pleistozän.....	21
Abbildung 7: Globale thermohaline Zirkulation (heute) inkl. Golfstrom.....	22
Abbildung 8: Periodizität v. Kalt- und Warmzeiten der letzten 2,75 Mio. Jahre	23
Abbildung 9: Vergleich der Temperaturanomalie mit den CO ₂ -Konzentrationen der letzten 800 000 Jahre.....	24
Abbildung 10: Erdneigungsachse.....	25
Abbildung 11: Änderung der Umlaufbahn der Erde.....	26
Abbildung 12: Änderung der Präzession der Erdachse.....	27
Abbildung 13: Klimaoptima/Klimapessima seit der letzten Kaltzeit bis heute...	30
Abbildung 14: CO ₂ -Gehalt der letzten 20 000 Jahre.....	32
Abbildung 15: Methanentwicklung der letzten 6 000 Jahre.....	32
Abbildung 16: Entwicklung der Weltbevölkerung 10 000 v. Chr. bis 2 200 n. Chr	34
Abbildung 17: Sonnenfleckenminima und ¹⁴ C-Minima der letzten 1 100 Jahre	36
Abbildung 18: CO ₂ - und FCKW-Konzentrationen 1750 bis 2012.....	42
Abbildung 19: Wichtige Treibhausgase.....	43
Abbildung 20: CH ₄ - und N ₂ O-Konzentrationen 1750 bis 2012.....	44
Abbildung 21: Demographische Entwicklung 1700 bis 2100.....	47
Abbildung 22: SchülerInnenanzahl der Unter- und Oberstufe.....	61
Abbildung 23: Auswertung Frage 5.....	62
Abbildung 24: Auswertung Frage 6.....	63
Abbildung 25: Auswertung Frage 9.....	63
Abbildung 26: Auswertung Frage 10.....	64
Abbildung 27: Auswertung Frage 7.....	65
Abbildung 28: Auswertung Frage 8.....	65
Abbildung 29: Auswertung Frage 11.....	67
Abbildung 30: Auswertung Frage 14.....	69
Abbildung 31: Auswertung Frage 12.....	70
Abbildung 32: Auswertung Frage 15.....	71
Abbildung 33: Auswertung Frage 15.....	72
Abbildung 34: Auswertung Frage 17.....	73
Abbildung 35: Auswertung Frage 13.....	75
Abbildung 36: Auswertung Frage 16.....	76
Abbildung 37: Auswertung Frage 1 und Frage 18.....	78
Abbildung 38: Auswertung Frage 2 und Frage 19.....	79
Abbildung 39: Auswertung Frage 3.....	79
Abbildung 40: Auswertung Frage 4.....	80
Abbildung 41: Auswertung Frage 20.....	81
Abbildung 42: Gewächshaus.....	106
Abbildung 43: Autoabgase.....	106
Abbildung 44: Cartoon.....	107

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klimawandelrelevante Themen im Kernstoff BIUK Unterstufe	87
Tabelle 2: Klimawandelrelevante Themen im Kernstoff BIUK Oberstufe	89
Tabelle 3: Klimawandelrelevante Themen in den untersuchten Schulbüchern.	93
Tabelle 4: Inhalte über den Klimawandel in "Biologisch 4"	96
Tabelle 5: Folgen des Bevölkerungswachstums auf das Klima im Vergleich zwischen "Begegnungen mit der Natur 5" und "Natura 5"	99
Tabelle 6: Folgen des Klimawandels in Begegnungen mit der Natur 6 und Natura 6	101
Tabelle 7: Thema "Ozon" in den beiden analysierten Schulbüchern	101

Anhang

Fragebogen

Liebe SchülerInnen!

Im Rahmen meiner Diplomarbeit im Fachbereich Biologie der Universität Wien führe ich eine Befragung zum Thema

„Einflüsse auf die Klimaentwicklung- Relevanz im Schulunterricht aus fachdidaktischer Sicht“ durch.

Ihr könnt mir mit euren Antworten helfen herauszufinden, was ihr über die Einflüsse auf das Klima und über Klimaveränderungen wisst und inwieweit die Klimaentwicklung für euch eine Rolle spielt.



Wichtige Informationen für euch:



Die Ergebnisse dieser Befragung werden nur zum wissenschaftlichen Zweck ausgewertet- sie haben keinen Einfluss auf eure Schulnoten!



Diese Befragung wird anonym durchgeführt - ihr müsst eure Namen also nicht angeben. Die Angabe eures Alters und eures Geschlechts dient wiederum der wissenschaftlichen Ausarbeitung.

Somit braucht ihr keine Scheu zu haben, eure ehrliche Meinung bzw. euer Wissen in die Antwortfelder einzutragen.

**Für die Durchführung bitte ich herzlichst um eure
Mitarbeit!**

Mit liebem Dank
Julia Dolezal

Geschlecht: weiblich männlich
Alter:

Allgemeine Fragen

1. Wie gut bist du deiner Meinung nach über den Klimawandel informiert?

(1 Antwortmöglichkeit)

- ich weiß nichts
- ich weiß wenig
- ich weiß einiges
- ich weiß vieles

2. Interessiert du dich für das Thema „Klimawandel“?

(1 Antwortmöglichkeit)

- ja
- eher ja
- eher nein
- nein

3. Du wirst/wurdest über den Klimawandel informiert...

(mehrere Antwortmöglichkeiten)

- in der Schule
- über meine Familie, Freunde etc.
- über das Fernsehen
- über Zeitungen/ Zeitschriften
- über das Internet
- über Sonstiges: _____

4. In welchen Fächern hast du bereits etwas über den Klimawandel gehört?

(mehrere Antwortmöglichkeiten)

- Biologie
- Deutsch
- Geographie
- Mathematik
- Chemie
- andere: _____
- Physik

FAKTEN-FRAGEN

5. Welche Faktoren, glaubst du, beeinflussen das Klima auf der Erde?

(mehrere Antwortmöglichkeiten)

- Sonneneinstrahlung
- Meteoriteneinschläge
- Dürreperioden
- Vulkanausbrüche
- starke Niederschläge und Tsunamis
- Sauerstoff und Helium
- Kohlendioxid und Methan
- Lage der Kontinente
- Rodung von Wäldern

6. In Großbritannien werden jedes Jahr Wetten abgeschlossen, ob es zu Weihnachten schneit, weil es nur selten vorkommt. Das Land liegt viel nördlicher als Österreich. Warum ist es dort trotzdem milder?

(eine Antwortmöglichkeit)

- Weil dort viel mehr Menschen leben, die heizen oder mit dem Auto fahren.
- Weil es dort ein Ozonloch gibt und mehr Sonneneinstrahlung durchkommt.
- Weil der Golfstrom warmes Meerwasser aus der Karibik bringt.
- Weil das Klima sich schon so verändert hat, dass es im Norden wärmer ist.

7. Welchen Anteil hat deiner Meinung nach der Mensch am Klimawandel?

(eine Antwortmöglichkeit)

- sehr hohen Anteil
- mittelmäßigen Anteil
- wenig Anteil
- keinen Anteil
- habe ich mir nie überlegt

8. Erneuerbare Energien (Sonne-, Wind- und Wasserkraft) sollen helfen das Klima zu stabilisieren. Deutschland ist weltweit führend auf dem Gebiet der erneuerbaren Energie. Wie viel Prozent, glaubst du, macht dieser Teil circa im Gegensatz zu Kohle oder Atomstrom aus?

(eine Antwortmöglichkeit)

- 10% 30% 50% 70%

9. Frage

(eine Antwortmöglichkeit)

Ötzi, der vor gut 5000 Jahren gelebt hatte und durch einen Speer getötet worden war, wurde 1991 auf 3000 Meter Seehöhe gefunden.

Auf dem folgenden Bild siehst du den damaligen Kleidungsstil des Ötzi.



Glaubst du, dass er ...

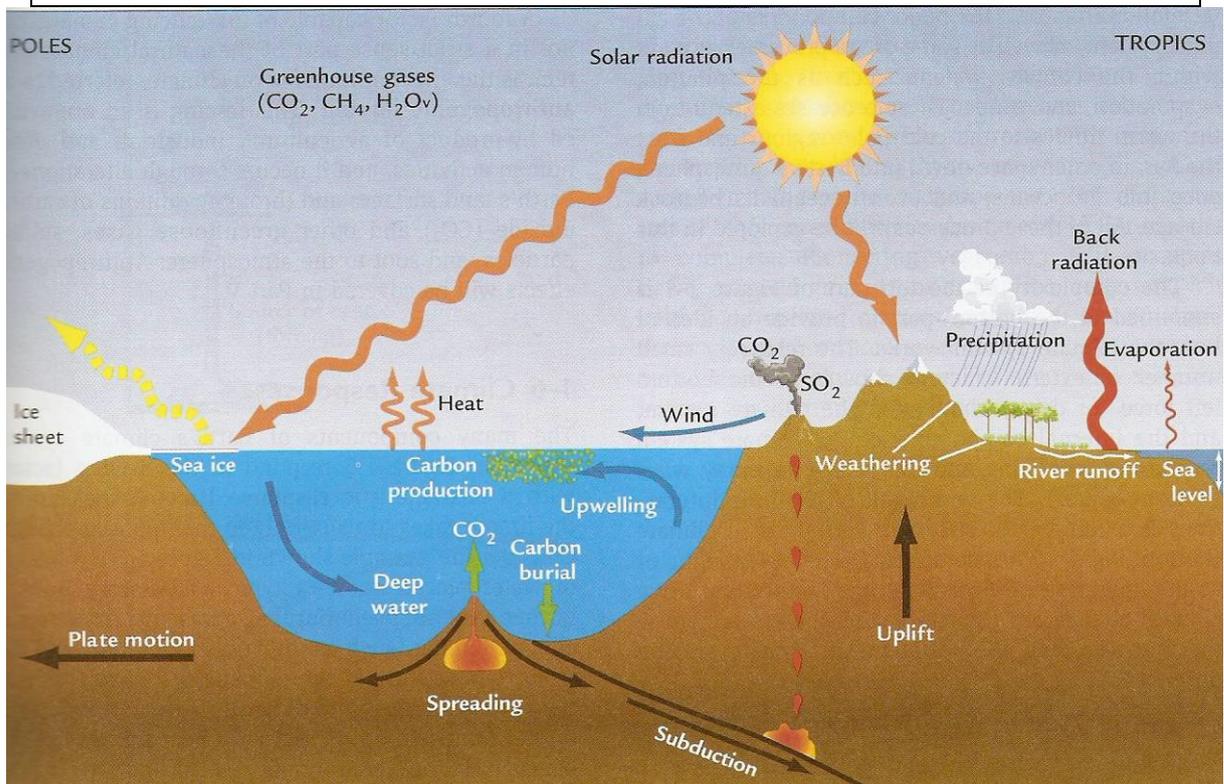
- ... für die Jagd in den Bergen so gekleidet war.
 ... so gekleidet war, weil es damals allgemein kälter war.

10. Vielleicht hast du schon einmal gehört, dass der punische Feldherr Hannibal aus Afrika kommend vor etwa 2200 Jahren die Alpen mit Elefanten überquert hat, um die Römer aus dem Norden anzugreifen. Er hat dabei bis auf ein Tier alle verloren, warum?

(eine Antwortmöglichkeit)

- Damals war das Klima kälter und somit war es schwerer die Alpen zu überqueren. Viele Elefanten sind erfroren oder verhungert.
 Damals war das Klima wärmer als heute. Somit war es einfacher die Alpen zu überqueren. Er hat viele Elefanten verloren, weil sie beim Abstieg von einem Schneesturm überrascht wurden bzw. weil sie zu wenig Nahrung bekamen.

11. In der folgenden Abbildung siehst du viele wichtige Faktoren, die Klimaveränderungen verursachen.



Kreuze nun jene Faktoren an, die du in der Abbildung erkennen kannst:

(mehrere Antwortmöglichkeiten)

- Vulkanausbrüche
- Salzgehalt im Meer
- Plattenbewegungen
- Sinken des Meeresspiegels
- Höhe des Meeresspiegelstandes
- Wärmestrahlung wird von der Erdoberfläche abgegeben
- Treibhausgase sind u. a. Sauerstoff, Kohlendioxid und Wasserstoff
- Verdunstung von Meerwasser
- Pflanzenbewuchs
- Sonneneinstrahlung
- Sonnenstand

12. Vor ~475 Mio. Jahren (Erdaltertum) betrug die globale

Durchschnittstemperatur etwa 25°C. Die heutige globale

Durchschnittstemperatur liegt bei 15 °C.

Der Grund für die Abnahme der Temperatur im Laufe von Millionen Jahren war u.a. das Auftreten von Pflanzen (und zwar mariner Algen).

Versuche mithilfe der folgenden Reaktionsgleichung, wie sie bei der Photosynthese abläuft, die korrekte Erklärung für die Temperaturverringerung anzukreuzen:

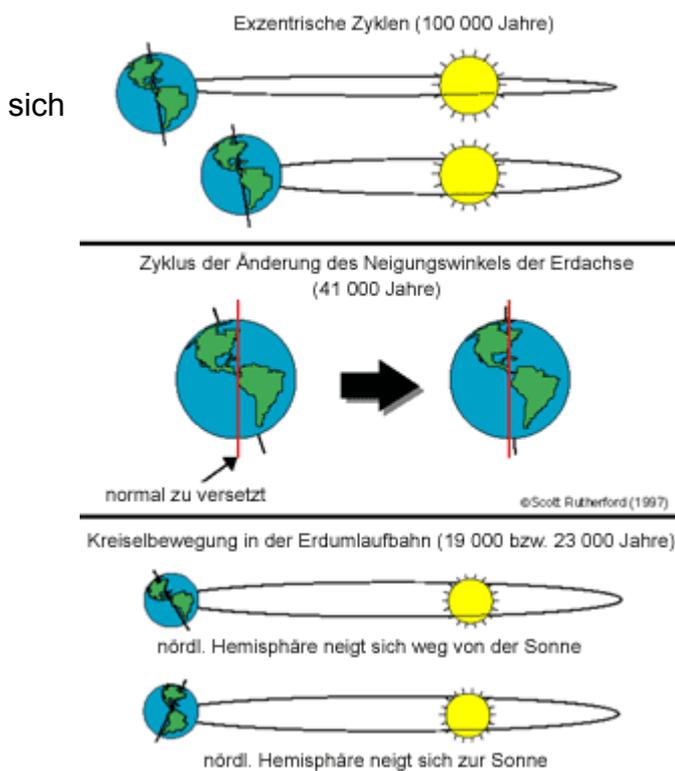
(eine Antwortmöglichkeit)



- Durch das entstandene Kohlendioxid wurde der Sauerstoff verbraucht, der den natürlichen Treibhauseffekt erhöht und somit zu einem Temperaturanstieg in der Atmosphäre führte.
- Der bei der Fotosynthese zu Glucose gebundene Kohlenstoff führte zu einer Verminderung der Kohlendioxidkonzentration in der Luft, somit zur Verminderung des Treibhauseffekts und dadurch zur Temperaturverringerung.

13. Die Sonnenstrahlung trägt einen großen Anteil an der Klimaentwicklung der Erde. Im Jahr 1920 fand der Astronom Milancović heraus, dass u.a. jene astronomischen Veränderungen, die du unten auf dem Bild siehst, erhebliche Gründe für die Abwechslung von Warm- und Kaltzeiten in den letzten 2 Mio. Jahren waren.

Nachdem du dir die Bilder und Erklärungen angesehen hast, überlege, inwieweit diese Veränderungen der Erde zu Warm- und Kaltzeiten führen können!



Veränderungen:

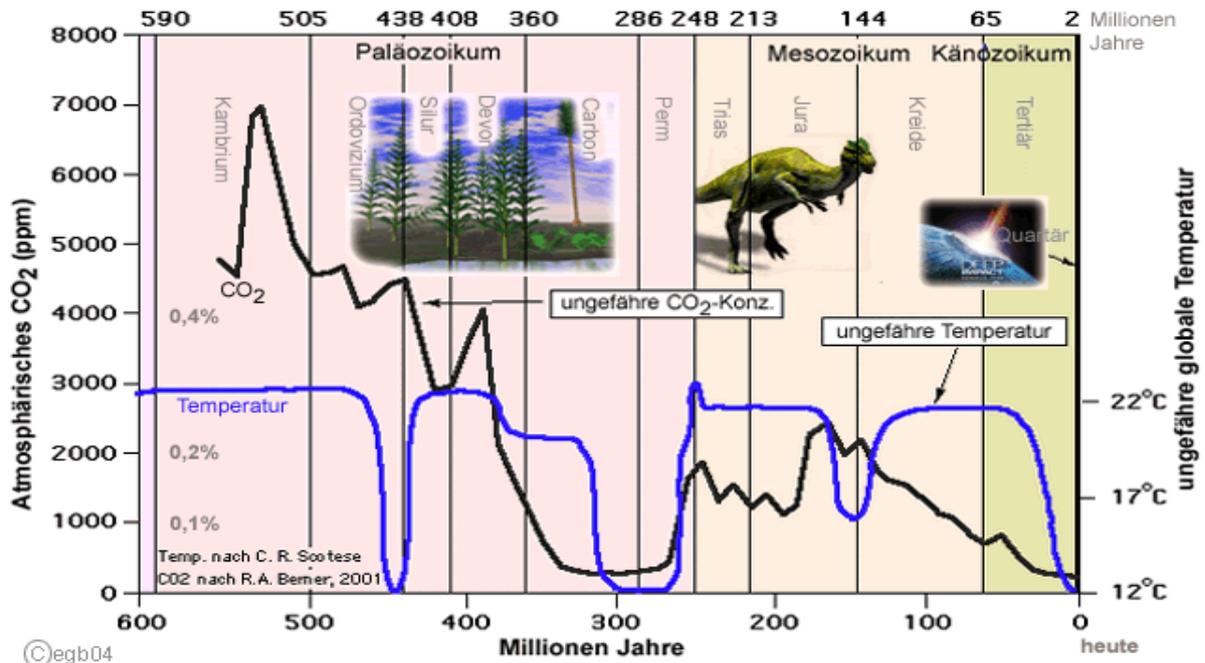
Alle 100 000 Jahre ändert die Umlaufbahn der Erde und somit auch der Abstand zwischen Sonne und Erde.

Alle 41 000 Jahre der Neigungswinkel der Rotationsachse (zwischen 21,5° und 24,5°).

Ca. alle 27 500 Jahre durchläuft die Rotationsachse eine Kreiselbewegung.

Erklärungen:

14. Im Folgenden siehst du ein Diagramm, das die Klimaentwicklung der letzten 600 Millionen Jahre aufzeigt. Beantworte mithilfe des Diagramms folgende Fragen:



a. Vor wie vielen Jahren war der Höhepunkt der CO₂-Konzentration erreicht?

b. Wie hoch war der je höchst erreichte Wert von CO₂?

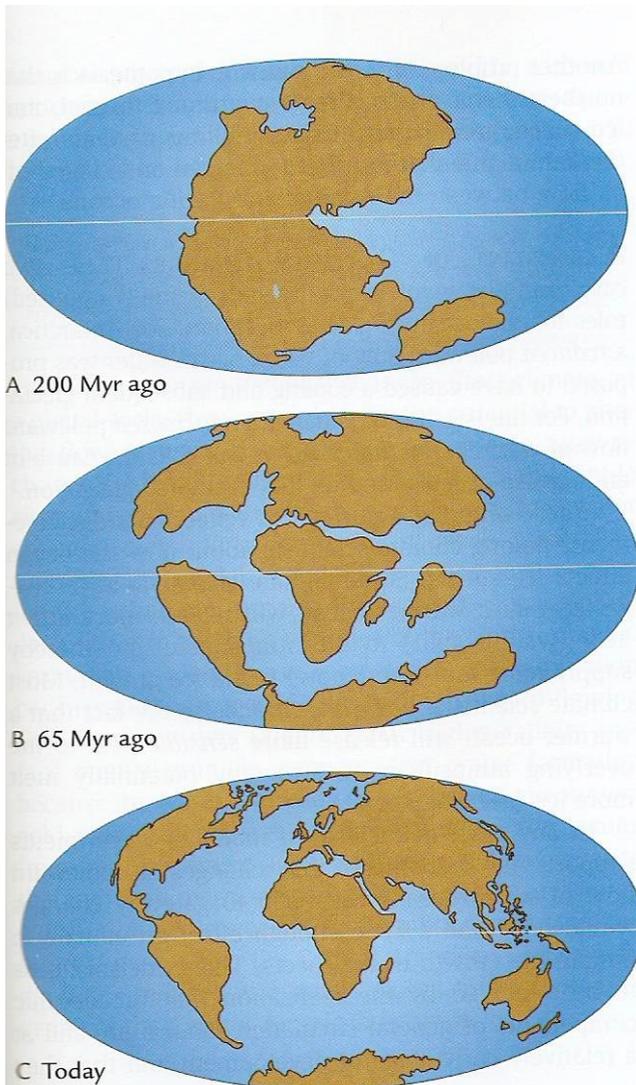
c. Wie hoch war die ungefähre globale Durchschnittstemperatur vor ~248 Mio. Jahren?

d. Kreuze die richtige Antwort zu folgender „Frage“ an :
 Im Karbon kam es nach relativ konstantem globalem Temperaturverlauf zu einem drastischen

- Temperaturanstieg.
- Temperaturabfall.

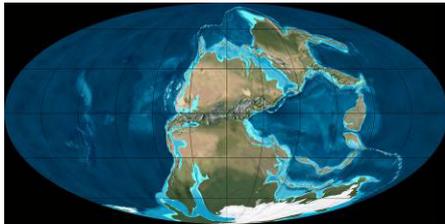
15. Auf dem folgenden Bild siehst du drei Abbildungen, die die Entwicklung der Kontinentsverschiebung im Laufe von Millionen Jahren zeigen.

Versuche zwischen dem ersten, zweiten und dritten Bild jeweils Unterschiede zu finden: Welche Kontinente lassen sich erkennen? Welche Kontinentsabgrenzungen sind neu? Findest du den Atlantik, den Pazifik bzw. das Mittelmeer vor 200 Mio. Jahren und vor 65 Mio. Jahren? Du kannst die Antworten gerne direkt auf der Karte einzeichnen und beschriften bzw. rechts daneben Antworten schreiben.

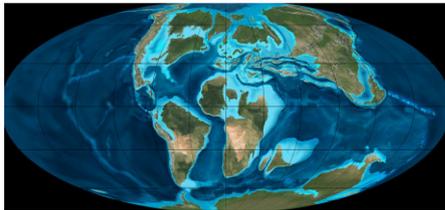


(Myr= Million years)

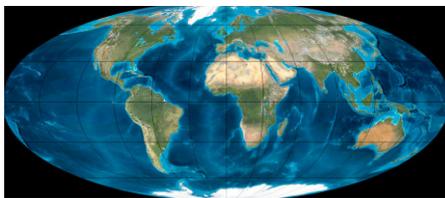
16. Betrachte die Karten aus unterschiedlichen Zeiten und siehe in der Grafik aus Frage 14 nach, wie warm/kalt es damals im Vergleich zu heute war. Glaubst du die Lage der Kontinente hat etwas mit der Klimaentwicklung zu tun? Begründe rechts neben den Bildern.



vor 280 Mio. Jahren (Perm)

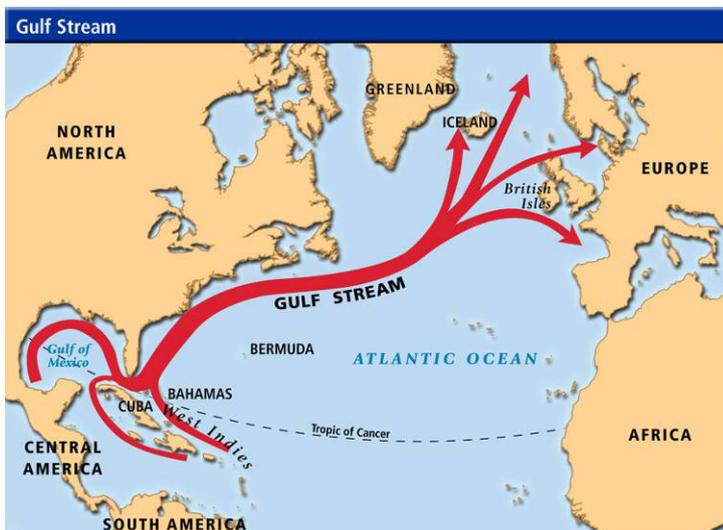


vor 65 Mio. Jahren (Kreide)



heute

17. Betrachte den Verlauf des Golfstroms, der warmes Wasser aus der Karibik bringt. Wohin strömt er?



Allgemeine Fragen

18. Wie, denkst du, bist du jetzt (nach Ausfüllen des Fragebogens) über den Klimawandel informiert?

(1 Antwortmöglichkeit)

- ich weiß nichts
- ich weiß wenig
- ich weiß einiges
- ich weiß vieles

19. Wie sehr interessierst du dich nun (nach dem Ausfüllen des Fragebogens) für das Thema „Klimawandel“?

(1 Antwortmöglichkeit)

- mehr
- so viel wie zuvor
- gar nicht
- weniger

20. Empfindest du das Thema Klimawandel als

(1 Antwortmöglichkeit)

- schwierig.
- eher schwer.
- mittelmäßig.
- eher einfach.
- einfach.