



Geografieprofil
E.d
(Herr Stefan Junker)

Wann und warum verliert die Menschheit die Möglichkeit in den anthropogenen Klimawandel einzugreifen?

Luisa Hameister

Lewe B. Janssen

Wiebke Mollenhauer

Finnja Schweers

Inhaltsverzeichnis

1.	EINLEITUNG (FINNJA SCHWEERS).....	10
1.1.	PROBLEMSTELLUNG	10
1.2.	GANG DER UNTERSUCHUNG	10
2.	KLIMABEEINFLUSSENDE FAKTOREN (FINNJA SCHWEERS)	11
3.	MÖGLICHE KIPPELEMENTE DER WELT - EISKÖRPER	12
3.1.	YEDOMA PERMAFROSTBÖDEN (LEWE B. JANNSEN)	12
3.2.	GRÖNLÄNDISCHES EISSCHILD (LUISA HAMEISTER)	13
4.	MÖGLICHE KIPPELEMENTE DER WELT – STRÖMUNGSSYSTEME	15
4.1.	EL NIÑO – SÜDLICHE OSZILLATION (LEWE B. JANNSEN)	15
4.2.	INDISCHER SOMMERMONSUN (WIEBKE MOLLENHAUER).....	16
4.3.	THERMOHALINE ATLANTIKZIRKULATION (FINNJA SCHWEERS).....	18
4.4.	JETSTREAM (FINNJA SCHWEERS).....	19
5.	MÖGLICHE KIPPELEMENTE DER WELT – ÖKOSYSTEME.....	21
5.1.	TROPISCHE KORALLENRIFFE (WIEBKE MOLLENHAUER).....	21
5.2.	BOREALE WÄLDER (LUISA HAMEISTER)	24
5.3.	AMAZONAS REGENWALD (FINNJA SCHWEERS)	26
6.	FAZIT UND AUSBLICK (WIEBKE MOLLENHAUER UND LEWE B. JANNSEN).....	28

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kippelemente im Erdsystem	11
Abbildung 2: Wirkungsgefüge zum Permafrost.....	12
Abbildung 3: Grönländisches Eisschild	14
Abbildung 4: Folgen des El Niños	15
Abbildung 5: Indischer Sommermonsun	16
Abbildung 6: Thermohaline (Atlantik-)Zirkulation.....	19
Abbildung 7: Verlauf des Jetstreams.....	20
Abbildung 8: Lebendes Korallenriff	22
Abbildung 9: Totes Korallenriff	22
Abbildung 10: Boreale Zone	24
Abbildung 11: Veränderung des Amazonas Regenwaldes von 2001 bis 2012	27

1. Einleitung (Finnja Schweers)

1.1. Problemstellung

Wir Menschen leben in einer Welt, für die wir die Verantwortung tragen. Durch unser (leider oft fehlerhaftes) Verhalten hatten und haben wir einen großen Einfluss auf unseren Planeten und dessen Klima, das sich aktuell in einem großen Wandel befindet. Das Bewusstsein für diese Entwicklung nimmt stetig zu. Der Begriff Klimawandel ist derzeit in aller Munde. Wir sind alle von dieser Entwicklung betroffen. Es stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage, welchen Beitrag wir Menschen leisten können, um dem Klimawandel entgegen zu wirken. Im Rahmen dieser Ausarbeitung möchten wir zeigen, wann und vor allem warum wir die Möglichkeit verlieren, in den menschengemachten Klimawandel, den sog. anthropogenen Klimawandel, einzugreifen.

1.2. Gang der Untersuchung

Zunächst werden wir in Kapitel 2 erläutern, welche Faktoren das Klima auf der Welt beeinflussen. Im Anschluss werden wir diese Faktoren in den Kapiteln 3, 4 und 5 näher erläutern. Kapitel 3 wird sich mit dem Thema Eiskörper, das Kapitel 4 mit den Strömungssystemen und das Kapitel 5 mit den unterschiedlichen Ökosystemen auseinandersetzen. Im Kapitel 6 werden wir ein Fazit und einen Ausblick geben.

2. Klimabeeinflussende Faktoren (Finnja Schweers)

„Das Klima wird kippen, falls die Welt so weitermacht.“¹ Kippelemente stellen also wichtige Faktoren im Kampf gegen den Klimawandel dar.

Was sind in diesem Zusammenhang Kippelemente?

Kippelemente werden als unumkehrbare und sich selbst verstärkende Prozesse von überregionaler Größe definiert² (vgl. Abbildung 1). Sie betreffen meist die größeren Bestandteile unseres Erdsystems, wie z.B. den Amazonas Regenwald. Wenn Kippelemente einmal anfangen zu kippen, ist es schwer diesen Prozess aufzuhalten. Wir können lediglich versuchen, sie auf dem Niveau, das sie erreicht haben, zu halten. Hierfür müssen wir das Hintergrundklima positiv verändern oder zumindest erhalten. Sie werden ihren neuen Zustand erhalten, auch wenn das Hintergrundklima zurückfällt.

Schon bei minimalen Veränderungen erreichen die Kippelemente ein neues Niveau und gefährden so durch die weitreichenden Umweltauswirkungen die Lebensgrundlage von uns Menschen, den Lebewesen und der Natur. Die Regionen auf der Welt reagieren unterschiedlich sensibel auf Veränderungen dieses Niveaus. Dies ist sehr problematisch, da bei Erreichen eines regionsabhängigen Schwellenwertes, die Kippelemente ihre Wirkung unterschiedliche früh entfalten. Dies wird als Schwellenwertverhalten in Bezug auf das Hintergrundklima bezeichnet. Es existieren bestimmte Werte, die bei Erreichung ein neues Niveau des Elementes aufweisen. Der neue Zustand wird schnell, sprunghaft oder langsam erreicht.

Kippelemente sind wie Dominosteine.³ Sind sie einmal umgekippt, kann man sie nur sehr schwer wieder aufhalten. Im Folgenden stellen wir die zentralen Kippelemente unseres Planeten dar.

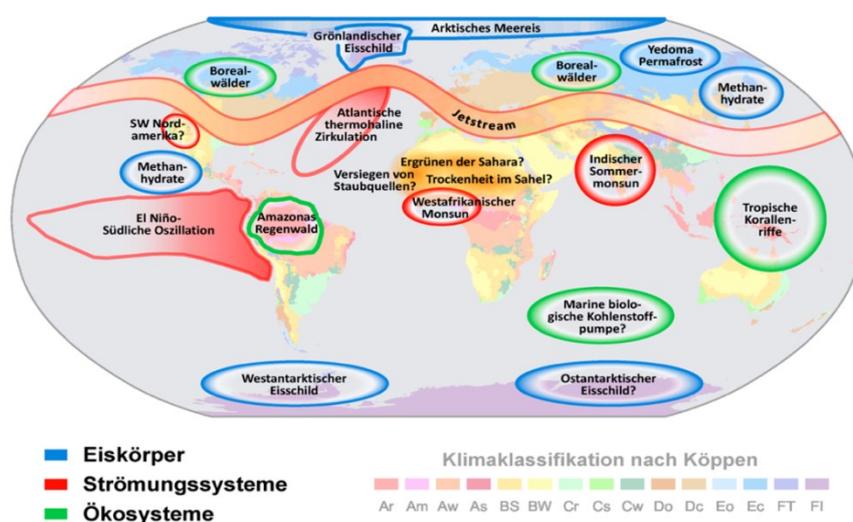


Abbildung 1: Kippelemente im Erdsystem⁴

¹ Vgl. Lüdemann und Reimer (2018)

² Vgl. Lüdemann und Reimer (2018)

³ Vgl. Schrader (2018)

⁴ Potsdam Institut für Klimaforschung (2017)

3. Mögliche Kippelemente der Welt - Eiskörper

3.1. Yedoma Permafrostböden (Lewe B. Jannsen)

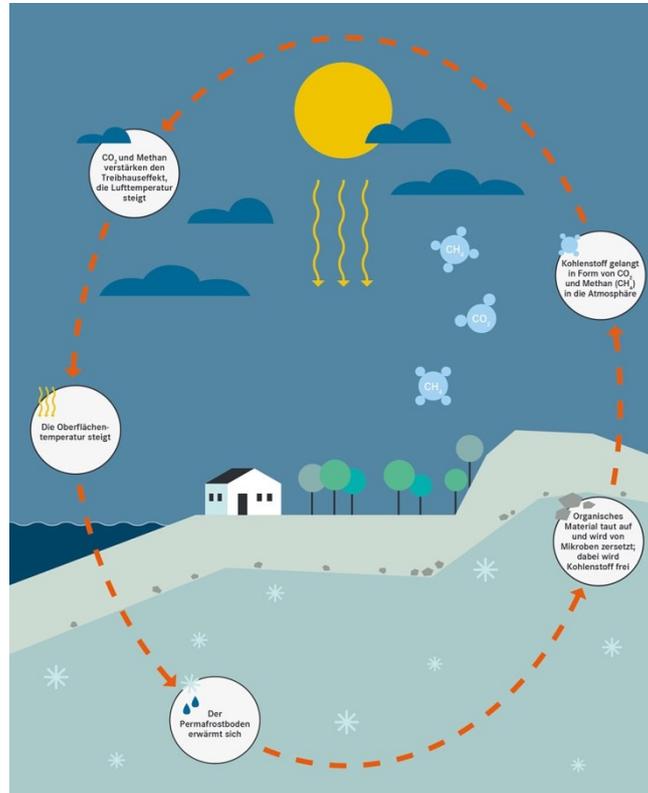


Abbildung 2: Wirkungsgefüge zum Permafrost⁵

Ein sehr bedeutendes Kippelement sind die Permafrostböden. Permafrost bzw. Dauerfrost bedeutet, dass der Boden in der Tiefe ständig gefroren ist. Dieser Zustand hält üblicherweise über Jahrhunderte an. Damit sich Permafrostböden überhaupt entwickeln können, muss die mittlere Jahrestemperatur in den Gebieten bei unter 0 Grad Celsius liegen. Diese kalten Temperaturen gibt es in Gebieten mit sehr langen Winter- und kurzen Sommerperioden. Die tiefsten Permafrostböden liegen im Norden Russlands, wo der Boden bis zu einer Tiefe von 1.500 m gefroren ist. Diese stark vereisten Böden erstrecken sich über eine Fläche von 23 Millionen km², das entspricht einem Viertel der Landfläche der Nordhalbkugel, die mehr als doppelt so groß ist wie Europa.

Wenn diese Permafrostböden aufgrund der globalen Erderwärmung auftauen sollten, würde dies einen unwiderruflichen Effekt auf unsere Erde und Zukunft haben (vgl. Abbildung 2), denn diese Permafrostböden beinhalten Fossilien aus Millionen von Jahren, welche somit freigelegt werden. Daraufhin würden Bakterien diese zersetzen und das Kohlenstoff und Methan, welches sich in diesen Fossilien befindet, kann direkt in unsere Atmosphäre gelangen. Permafrostböden halten somit Fossilien zurück,

⁵ Koch (2016)

welche Kohlenstoff und Methan speichern. Auch wenn nur die oberste Schicht der Permafrostböden auftauen würde und das Methan und Kohlenstoff freigesetzt wird, könnten laut der Zeitung „Die Zeit“ zusätzlich rund 1.500 Milliarden Tonnen Kohlenstoffdioxid in unsere Atmosphäre gelangen.⁶ Diese Summe ist doppelt so viel wie sich heute bereits in unserer Atmosphäre befindet.⁷

Die Folgen dieses großen und weitreichenden Ereignisses wären dramatisch. Schon heute bedroht Erosion viele Dörfer in den betroffenen Regionen, wie Alaska und Russland. Viele Anwohner dieser Regionen in Russland und Alaska befürchten, dass die gesamte Infrastruktur wie Siedlungen, Straßen, Schienen und Gasleitungen in den nächsten Jahrzehnten zusammenbricht.⁸ Ein weiteres Problem für die vor Ort betroffene Bevölkerung ist das Versickern von Seen, denn durch den schwindenden Permafrost kann das Wasser tiefer in das Erdreich gelangen und somit wird vielen ihre Lebensgrundlage, die Fischerei, entzogen.

Auch Deutschland kann massiv vom Auftauen der Böden betroffen sein. Denn wenn Permafrostböden weiter stark auftauen werden, wird sich eine Kettenreaktion in Gang setzen, welche nicht umkehrbar ist: Je mehr schädliche Gase wie Methan und Kohlenstoff in die Atmosphäre gelangen, desto größer ist die Wechselwirkung mit anderen Kippelementen, wie dem El Niño Phänomen, die ab einem gewissen Punkt nicht mehr kontrollierbar sind. Diese Kippelemente geraten dann ebenfalls aus dem Gleichgewicht und führen zu einem unaufhaltsamen Kollaps des Ökosystems. Somit beschränken sich die Auswirkungen, des Auftauens der Permafrostböden nicht nur auf Sibirien und Nordamerika, sondern haben einen globalen Effekt.

3.2. Grönländisches Eisschild (Luisa Hameister)

Der Grönländische Eisschild ist das zweitgrößte Eisreservoir der Erde und bedeckt ca. 82% der Fläche Grönlands, wie in Abbildung 3 zu erkennen ist. Ein Eisschild ist ein ausgedehntes, festes Land bedeckender Gletscher und es ist größer als 50.000 km². Der Grönländische Eisschild hat zurzeit eine Höhe von 3000m. Die Oberfläche befindet sich somit in einer Höhe mit kalten Luftschichten. Durch die Erderwärmung schmilzt das Eis und die Oberfläche gerät langsam in wärmere Regionen. Der Schmelzvorgang wird dadurch beschleunigt.

„Durch das Tauen freigelegte Bodenflächen sind dunkler als das Eis und der Schnee und heizen sich in der Sonne stärker auf, was nochmals ein schnelleres Abschmelzen zur Folge hat.“⁹

Die Albedo, also das Rückstrahlungsvermögen, liegt bei frischem Schnee bei 0,80-0,90. Das bedeutet es wird kaum Wärme aufgenommen. Alter Schnee hat einen Albedo von 0,45-0,90.

⁶ Vgl. Alfred-Wegener-Institut (AWI)/Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung

⁷ Vgl. Lüdemann und Reimer (2018)

⁸ Vgl. Aussagen und Dokumentationen von Nikita Zimov / Weltspiegel

⁹ Klein (2009)

Es gibt Hinweise darauf, dass der Kipppunkt eines möglicherweise vollständigen Abschmelzens des grönländischen Gletschers schon bei einer globalen Erwärmung von knapp 2°C erreicht werden kann.

Sollte sich der Grönländische Eisschild noch über Jahrhunderte bis Jahrtausende weiter verkleinern, kann das einen Meeresspiegelanstieg von bis zu 7 Metern bedeuten.

Zusammenfassend kann man sagen, dass das Schmelzen nur durch das Verhindern der weiteren Erderwärmung erfolgen kann.

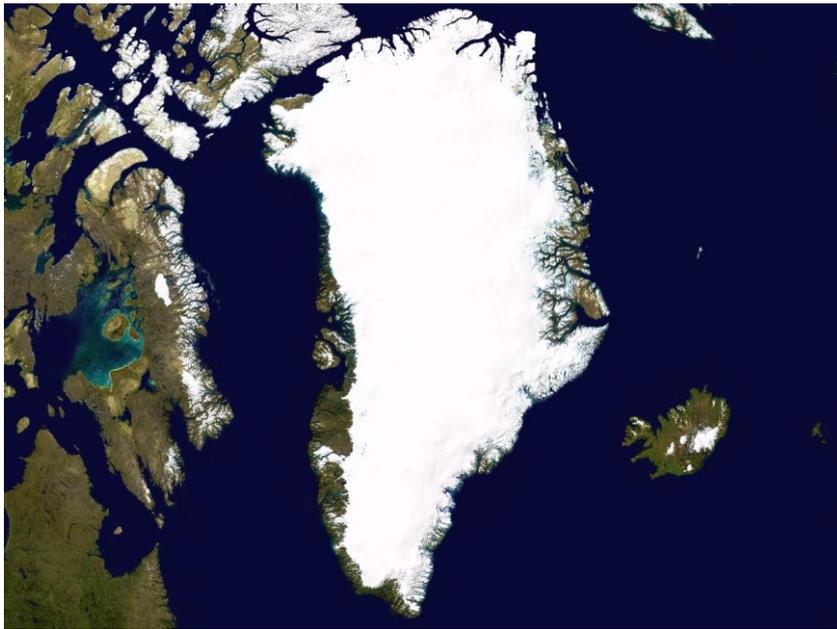


Abbildung 3: Grönländisches Eisschild¹⁰

¹⁰ Wikipedia B2

4. Mögliche Kippelemente der Welt – Strömungssysteme

4.1. El Niño – Südliche Oszillation (Lewe B. Janssen)



Abbildung 4: Folgen des El Niños¹¹

Ein natürliches Wetterphänomen, welches auch zu den Kippelementen zählt, ist El Niño. Dieses Ereignis tritt alle drei bis sieben Jahre im südlichen Pazifik auf. Normalerweise treibt Wind kaltes- und planktonreiches Wasser aus der Tiefsee an die Wasseroberfläche Südamerikas. Dort wird das Oberflächenwasser erwärmt und in Richtung Westen getrieben. Diese Winde heißen Südostpassatwinde und stellen eine sehr mäßige und äußerst beständige Zirkulation dar. Tritt El Niño auf, flauen diese Passatwinde ab oder drehen ihren Kurs, was zur Folge hat, dass kein kaltes und planktonreiches Wasser vor Südamerika mehr aus der Tiefsee aufgetrieben wird. Zusätzlich führt die Veränderung der Luftzirkulation dazu, dass warmes Oberflächenwasser bereits an der Küste Südamerikas aufgestaut wird statt vor Indonesien und weiteren Inseln in Südostasien. Auch das weltweite Wettergeschehen wird von El Niño aufgrund der veränderten Luftzirkulation beeinflusst.

Eines der stärksten bisher gemessenen El Niño-Jahre war 2015/16. Laut dem Tagesspiegel litten rund 60 Millionen Menschen unter den Folgen des Phänomens.¹² Dieses brachte starke Dürren, wie in Abbildung vier deutlich zu erkennen ist, zu den pazifischen Inseln, den Süden Afrikas und der Karibik. Im Gegensatz dazu gab es starke Regenfälle und Erdbeben in Südamerika. Außerdem verursachte dieser „Rekord-El Niño“ starke Ernteeinbußen, z. B. in Japan und Indien, rief Waldbrände hervor, verursachte Hungersnöte in Afrika, löste eine Korallenbleiche vor Australien aus und sogar Stromengpässe in Venezuela, denn dort sanken aufgrund der Trockenheit die Pegelstände der Wasserkraftwerke auf ein zu geringes Niveau ab, um Strom produzieren zu können. Auch die Fischerei als Lebensgrundlage vieler Menschen an den Küsten Südamerikas war durch den Einfluss auf die Routen der

¹¹ Dehmer und Ehlerding (2016)

¹² Vgl. Background paper des Wirtschafts- und Sozialrat der Vereinten Nationen (ECOSOC) vom 5./6. Mai 2016

Fischschwärme von El Niño betroffen. Gleichzeitig konnten auch einige Länder von dem starken El Niño profitieren: In Kalifornien wurden z.B. durch starke Regenfälle die Trinkwasserreservoirs wieder gefüllt.

Erwärmt sich das Klima weltweit im Durchschnitt um 3 Grad Celsius, so wird El Niño als Kippelement Forschern zufolge fallen und in der Zukunft häufiger und stärker auftreten.¹³ Dies würde humanitäre Katastrophen auslösen, wie Hungersnöte und Wasserknappheit, eine politische Destabilisierung in weiten Teilen Afrikas und Südostasiens und Korallenbleichen zur Folge haben. In Südamerika würden viele Menschen ihre Lebensgrundlage, die Fischerei verlieren, wenn sich häufiger warmes Wasser an der Küste aufstaut und somit den Fischen selbst ihre Lebensgrundlage, das Plankton aus der Tiefsee, entzieht. Auch Deutschland könnte durch extrem kalte Winter betroffen sein. Somit ist auch dieses Kippelement von globaler Bedeutung.

4.2. Indischer Sommermonsun (Wiebke Mollenhauer)

Eines der wichtigsten Kippelemente, die das Anthropozän, so glauben die Wissenschaftler, voraussichtlich zum Kippen bringen kann, ist die Destabilisierung des indischen Sommermonsuns.¹⁴

Aber was ist der indische Sommermonsun überhaupt?

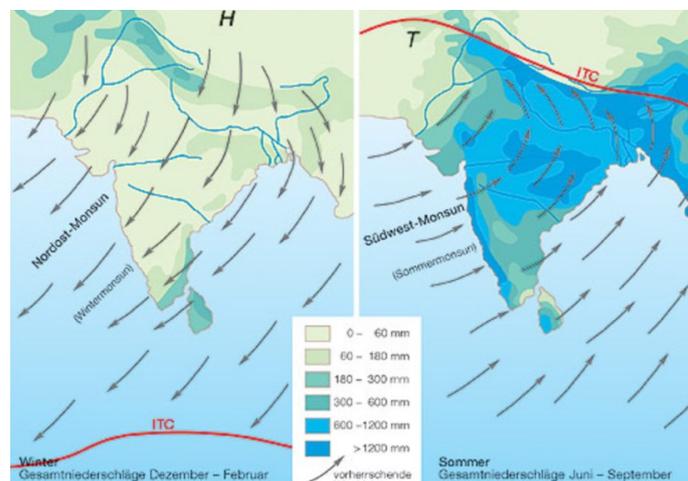


Abbildung 5: Indischer Sommermonsun¹⁵

Der indische Sommermonsun ist ein Wind und gleichzeitig ein Klimaphänomen, welches sich in Indien und den nahegelegenen Regionen abspielt. Dort bestimmt er das Klima und ist seit einiger Zeit verantwortlich für starke Überschwemmungen und

¹³ Vgl. Planet Schule

¹⁴ Vgl. Potsdam Institut für Klimaforschung (2017)

¹⁵ Forkel, Reitzki (2012)

Dürren. Jedoch ist er ebenso lebenswichtig für die Bevölkerung, da er teilweise ihre einzige Wasserquelle für die Landwirtschaft und den eigenen Bedarf darstellt.

Der Monsun ist ein beständig wehender Wind, welcher halbjährlich seine Richtung ändert, wie in Abbildung 11 dargestellt wird. Im Winter befördern diese Winde trockene Luft aus dem Nordosten der Eurasischen Platte. Im Sommer tragen sie Feuchtigkeit mit sich, welche sich im Süden über dem Indischen Ozean und dem Arabischen Meer ansammelt und über Indien abregnet.

Einfach gesagt entstehen diese Winde, da Fallwinde, vom Himalaya-Gebirge ausgehend, für ein Hochdruckgebiet über Indien sorgen. Diese rufen den Wintermonsun hervor. Die Luftmassen erwärmen sich wiederum durch einfallende Sonnenstrahlen, wenn es in Indien Sommer wird und es kommt zu einem sogenannten Bodentief, da die erwärmte Luft aufsteigt. Das Tiefdruckgebiet am Boden zieht nun das Hochdruckgebiet über dem Indischen Ozean an und damit die mit Feuchtigkeit gefüllten Luftmassen. Der Wintermonsun macht somit Platz für den Sommermonsun.

Warum ist der indische Sommermonsun ein Kippelement und wie verändert die globale Erwärmung die indischen Winde?

Der indische Sommermonsun ist als Kippelement zu benennen, da er, wie es die Definition der Kippelemente aussagt, zum globalen Klima- und Ökosystem gehört und schon durch minimale äußere Einflüsse in einen neuen Zustand versetzt werden kann, wenn er einen Kippunkt erreicht hat¹⁶.

Der neue Zustand, den der indische Sommermonsun erreichen kann, ist die Destabilisierung dessen. Unter anderem die Luftverschmutzung, die zur globalen Erwärmung beiträgt, und Landnutzungsänderungen können das System des Monsuns erheblich verändern. Die globale Erwärmung trägt dazu bei, dass der Druckgradient, wie er für den Monsun natürlich und notwendig ist, ins Schwanken gerät, sich also verändert.

Somit kommt es höchstwahrscheinlich, schon wenn die Temperaturen auf der Erde durchschnittlich um 2°C steigen zu erheblichen, noch nie dagewesenen Ausmaßen des Monsuns, wie z.B. extreme Überschwemmungen oder starken Dürren, die globale Folgen mit sich bringen werden.¹⁷

Diese Extreme sind jedoch bereits in gewissem Maße eingetreten und werden weiter und in noch schlimmerem Ausmaß das Leben der indischen Bevölkerung einschränken.

2013 kostete das Zusammentreffen von Regengüssen, Erdbeben und Überflutungen im nordindischen Bundesstaat Uttarakhand vermutlich fast 1.000 Menschen das Leben¹⁸. Es ist von den bisher stärksten Ausprägungen des Monsuns die Rede.

¹⁶ Wikipedia

¹⁷ Vgl. Roß (2017)

¹⁸ Vgl. Roß (2017)

Aber warum verlieren wir genau dann die Möglichkeit in den Klimawandel einzugreifen?

Sobald sich der Temperaturanstieg auf der Erde dem Durchschnittswert von 2°C nähert, ist es für uns kaum noch möglich das Kippelement indischer Sommermonsun zu stoppen und unwiderrufliche Folgen zu verhindern.

Der Grund dafür ist, dass durch das Kippen eines Kippelementes weitere Systeme der Erde verändert und angestoßen werden. Der sogenannte Dominoeffekt trifft ein. Die Kippelemente können zudem Rückkopplungen in Gang setzen, Änderungen in anderen Subsystemen des Systems Erde hervorrufen und so Kaskadeneffekte auslösen.¹⁹

Aus diesen Gründen wäre es der Menschheit nicht weiter möglich den Klimawandel unter Kontrolle zu halten. Bisher konnten wir dieses unumkehrbare, nicht mehr zu stoppende Ausmaß noch gering halten, doch bald wird das Kippelement indischer Sommermonsun höchstwahrscheinlich erreicht sein, wenn die Menschheit ihr Verhalten nicht ändert.

4.3. Thermohaline Atlantikzirkulation (Finnja Schweers)

Die thermohalinen (Atlantik-)Zirkulationen, in Abbildung 6 dargestellt, sind die globalen Umwälzströmungen im atlantischen Ozean und können somit als riesige Energieförderbänder für gewaltige Energiemengen bezeichnet werden. Die hauptsächliche thermohaline Atlantikzirkulation ist der Golfstrom. Laut der Zeit ist er sogar die größte Energiepumpe der Welt.²⁰

Der Golfstrom befördert warmes Wasser aus dem Süden aus der Äquatorregion in Richtung Norden, also nach Europa und in das Nordmeer. So sorgt er für ein mildes Nord-Westeuropäisches Klima. Im Süden verdunstet ein Teil des Wassers aufgrund der Nähe zum Äquator und der damit verbundenen Wärme. Der Salzgehalt des Wassers steigt. Dieses salzhaltige Wasser wird mit Hilfe der Strömung über den Golf von Mexiko, wo das Wasser nochmals viel Wärme mitnimmt, oberflächlich in den Norden befördert. Dort kühlt sich das Wasser ab und sinkt, meist vor Grönland und den Labrador Inseln, wieder ab. Von dort aus fließt es in der Tiefe wieder in den Süden. Durch diesen Kreislauf und die so entstehende Sogwirkung, werden immer wieder neue Wassermassen aus dem Süden nachgezogen. Am Ende beginnt der Kreislauf von vorne. Der wesentliche Motor dieser Strömung ist das kalte, dichte und schwere Salzwasser, das sich unterhalb des auf der Oberfläche schwimmenden Süßwassers befindet.

Durch die globale Erwärmung schmilzt immer mehr Eis. Mehr Süßwasser gelangt in die Meere. Insbesondere das Abschmelzen des Grönländischen Eises beeinflusst den Golfstrom. Das Schmelzwasser schwächt die Tiefenwasserbildung. Der Salzgehalt verringert sich, ebenso wie die Dichte des Salzwassers. Dies verlangsamt wiederum

¹⁹ Vgl. Wikipedia

²⁰ Vgl. Lüdemann und Reimer (2018)

den Antrieb des Golfstroms. Es gibt bereits Hinweise für einen Abschwächungsprozess. Dies hat enorme Folgen für das marine Ökosystem²¹, den Meeresspiegelanstieg²² und die Abkühlung des Nordatlantikraumes. Wenn der Abschwächungsprozess verstärkt eintritt, fehlt dem Golfstrom die Energie um Europa zu erreichen. Dadurch würde sich der Golfstrom nach Süden verlagern und in Westeuropa für eine Abkühlung und eine mögliche Abkühlung sorgen.²³ Zugleich werden sich die tropischen Zonen weiter erwärmen.

Die riesigen Veränderungen werden voraussichtlich ab 4-5 Grad Celsius Erwärmung in 100 Jahren spürbar erreicht.²⁴ Trotzdem sind bereits die ersten Veränderungen zu verzeichnen und zum Teil schon leicht zu spüren.

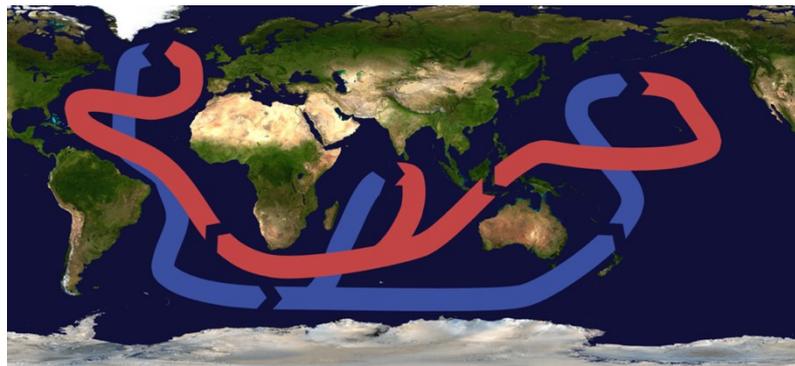


Abbildung 6: Thermohaline (Atlantik-)Zirkulation²⁵

4.4. Jetstream (Finnja Schweers)

Der Jetstream, auch Strahlstrom genannt, sind die kräftigen Luftströmungen auf der Nordhalbkugel (vgl. Abbildung 7). Dort bewegt er sich auf Höhe der mittleren Breiten in der Troposphäre, also in sieben bis zwölf Kilometern Höhe. Dieses Starkwindband verläuft wellenartig über die ganze Nordhalbkugel und sorgt für die Entstehung der Hoch- und Tiefdruckgebiete und somit für das Wetter. Er vereint kalte Luftmassen von der Arktis mit warmen Luftmassen aus dem Süden und gleicht die Luftdruckunterschiede aus. Durch die Coriolis-Kraft wird die Luft nach Osten abgelenkt und so entsteht eine Westwindströmung. Aufgrund dieser Strömung haben wir hier in Kiel sehr häufig Westwind.

Durch den Rückgang des Polareises kann eine stärkere Absorption des Sonnenlichts stattfinden. Dadurch werden die Luftdruckunterschiede geringer und der Antrieb verlangsamt sich.

Wenn diese Strömung beginnt sich zu verlangsamen und die sogenannten Rossby-Wellen sich auflösen, gibt es wochenlange, sich nicht auflösende, Großwetterlagen.

²¹ Als Ökosystem werden laut Spektrum alle dem Meer angehörenden, im Meer entstandene und im Meer existierende Lebensräume sowie Biozönosen verstanden.

²² Der Meeresspiegelanstieg ist laut (Quelle) vor allem an der nordamerikanischen Atlantikküste zu verzeichnen.

²³ Vgl. Lüdemann und Reimer (2018)

²⁴ Vgl. Planet Schule, sowie Szeglat (2018)

²⁵ Wikipedia B3

Solche Großwetterlagen würden Kältewellen, Hitzewellen, Dürren und Überflutungen mit sich bringen. Diese Änderungen kriegen wir schon längst zu spüren. Schon im Jahr 2018 war der Hitzerekordsommer eine Folge eines stationären Jetstreams, so dass die Dürre in unsrem Land lange anhielt. Wiederum eine weitere Folge waren Waldbrände durch die langanhaltende Dürre und Beschädigung der Land- und Forstwirtschaft durch Schädlingsbefall und Dürre. Erwärmen sich die Polregionen weiterhin so stark, wird der Jetstream zum Erliegen kommen und in vielen Städten werden Hitzestaus, hervorgerufen durch den fehlenden Wind, Alltag sein. Dadurch werden gesundheitliche Probleme resultieren wie Herzkreislauf-Probleme und Hitzeschläge.

Solche Extremwetterlagen, wie Dürrephasen oder Überflutungen, werden schon in mehreren Jahren unsere Realität sein.²⁶

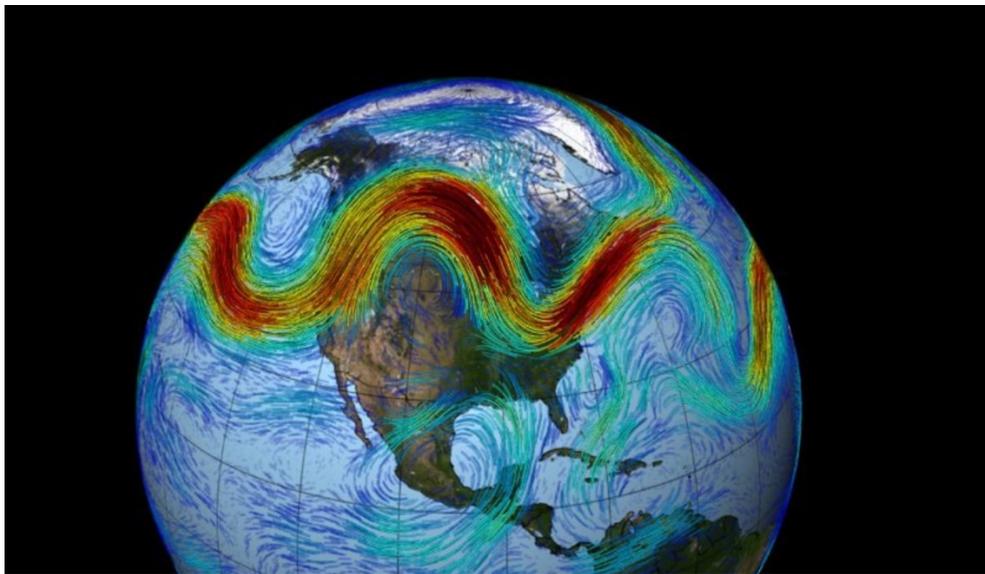


Abbildung 7: Verlauf des Jetstreams²⁷

²⁶ Will, Steffen et al. (2018)

²⁷ Dambeck (2018)

5. Mögliche Kippelemente der Welt – Ökosysteme

5.1. Tropische Korallenriffe (Wiebke Mollenhauer)

Ein nächstes Kippelement, welches dazu führen könnte, dass wir die Möglichkeit verlieren, in den Klimawandel einzugreifen, sind die Tropischen Korallenriffe. Dieser Text soll sich auf das größte Riff der Welt beziehen, nämlich auf das Great Barrier Reef.

Aber was sind die tropischen Korallenriffe überhaupt?

Es zieht sich von Nordost-Australien bis nach Papua-Neuguinea: das Great Barrier Reef. Das Riff ist unter tausenden anderen Riffen das Größte seiner Sorte und zählt zu den artenreichsten Regionen der Welt mit 400 verschiedenen Korallenarten und Fischen und 4000 verschiedenen Weichtieren (vgl. Abbildung 8)! Doch seine Zukunft ist ungewiss.

Denn schon die kleinsten Temperaturschwankungen und die geringste Versauerung des Ozeans durch einen erhöhten CO₂-Gehalt haben schwere Folgen für das empfindliche und zerbrechliche Ökosystem Korallenriff (vgl. Abbildung 9). In diesem System leben die Korallen und Nesseltiere (Polypen genannt) eng miteinander, denn die Polypen sorgen überhaupt erst dafür, dass Korallengerüste entstehen können. Die kleinen Tiere haften fest an den Korallen und halten sie am Leben.

Warum ist das Great Barrier Reef ein Kippelement und wie verändert die globale Erwärmung das Korallenriff?

Klar ist, dass die globale Erwärmung den Korallenriffen Schaden zufügt. Dies kann man bereits teilweise sehen, wenn von den einstig bunten Korallenriffen nur noch kalkweiße Reste übrig sind.

Durch verschiedene, teilweise durch den anthropogenen Klimawandel ausgelöste Umstände kann das hochempfindliche Korallenriff seinen natürlichen Lebensweisen nicht mehr gerecht werden.

Ein Beispiel dafür sind ungewöhnlich unzyklische Meeresströmungen wie El Niño, welche den Lebensraum Korallenriff verändern: Durch das Erzeugen eines höheren Luftdrucks vertreibt El Niño zahlreiche schattenspendende Wolken über den Riffen, sodass die Sonneneinstrahlung verstärkt wird. Außerdem treibt El Niño erwärmte Wassermassen mit sich.



Abbildung 8: Lebendes Korallenriff²⁸



Abbildung 9: Totes Korallenriff²⁹

Die Korallen- und Fischarten, die im Great Barrier Reef leben, können nur bei bestimmten Temperaturen leben, welche nicht groß schwanken dürfen. Passiert es nun, dass die Temperaturen hierbei über 30°C ansteigen, geben die Polypen an den Korallen das Pigment Chlorophyll ab, welche für sie überlebenswichtig ist.

Die Koralle stoßen die Polypen dann ab und diese sterben unmittelbar. Ohne die Tierchen könnten die Korallen jedoch ebenfalls nicht überleben und sterben ebenfalls, jedoch langsam. Die Korallen könnten sich, wenn sich das Ökosystem wieder regeneriert, erholen. Das würde allerdings um die 20 bis 30 Jahre dauern.

In den meisten Fällen würde es deshalb so sein, dass die Polypen durch die zu hohe Erwärmung des Wassers sterben und mit ihnen die Korallen.

Auch der Versauerung des Ozeanes durch einen erhöhten CO₂-Gehalt sind die Korallen nicht gewappnet, denn durch die erhöhte Menge an CO₂ hat das Wasser einen nicht neutralen pH-Wert.

²⁸ Walker (2017)

²⁹ Spiegel Online (2016)

Die Korallen können nur in einem alkalischen Umfeld überleben. Durch Versauerung wird das Wachstum der Kalkhüllen von den Korallen verhindert. Halten sie den Zustand nicht mehr aus, sterben sie ab.

Was sind hierbei die Folgen und warum verlieren wir dann die Möglichkeit einzugreifen?

Die Korallenriffe stellen für die Menschen an den Küsten einen wichtigen Schutz dar, da diese das Land vor hohen Wellen, Erdbeben, Stürmen und Strömungen schützen. Die Korallen bilden eine raue Kalkmauer vor den Landmassen aus und können somit oft schwere Unglücke verhindern.

Beispiel hierfür ist:

“Der Tsunami im Dezember 2004 im Indischen Ozean hat gezeigt, dass ihnen eine bedeutende Schutzfunktion für die Küsten zukommt. [...] Spätere Untersuchungen zeigten, dass Küstengebiete mit vorgelagerten Korallenriffen und intakten Mangrovenwäldern der Riesenwelle besser standgehalten hatten als vorgeschädigte Regionen.“³⁰

Die Kalkmauern konnten sich bisher dem Anstieg des Meeresspiegels (welcher schon vor dem Anthropozän stieg anpassen und wuchsen mit diesem mit, jedoch tun sie dies nicht mehr, weil sich die Temperaturen des Wassers weiter erhöhen. Bei der Geschwindigkeit des Anstieges können sie nicht mehr mithalten.

Die Erwärmung und die Versauerung haben noch schlimmere Folgen für die Korallen. Durch die anthropogenen Zustände sterben die Unterwasserlebewesen.

Dadurch wird ein funktionierendes und bedeutendes Ökosystem, welches das Land und die Menschen vor Naturkatastrophen schützen soll, zerstört.

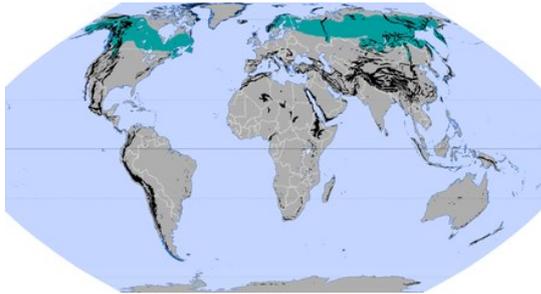
Wir verlieren die Möglichkeit in den Klimawandel einzugreifen, weil sich die Kalkmauern, welche unser Land schützen, nach dem Korallensterben nicht wieder aufstellen können.

Wir verlieren einen Schutz und sind Naturkatastrophen schutzloser ausgesetzt. Nur eine direkte Veränderung und Regeneration des Ökosystems könnte einen Teil der noch bestehenden Korallenriffe retten.

³⁰ Vgl. Greenpeace (2014)

5.2. Boreale Wälder (Luisa Hameister)

Die borealen Wälder, auch bekannt als boreale Zone, sind eines von vielen Kippelementen. Sie strecken sich fast über die gesamte Nordhalbkugel von Alaska über Skandinavien bis hin nach Sibirien, wie in Abbildung 10 aufgezeigt. Die Zone umfasst laut der Quelle "Geo Hilfe" einen Anteil von 13,1 % am gesamten Festland der Erde und ist somit das zweitgrößte Wald-Ökosystem der Welt.



Dunkel blau markiert = Boreale Zone

Abbildung 10: Boreale Zone³¹

Durch die Erderwärmung erhöht sich das Risiko für Trockenheit und Feuer. Dies führt dazu, dass der boreale Wald verkleinert wird und durch Gras- und Buschlandschaft ersetzt wird.

Das Problem einer Gras- und Buschlandschaft ist, dass sich dort keine Bäume befinden, diese aber ein bedeutender Punkt im Klimageschehen darstellen.

Die Borealen Wälder sind ein wichtiger Kipppunkt im Klimageschehen: Bäume können CO₂ aufnehmen und stellen somit eine CO₂-Senke dar. Dadurch kann das zu viele CO₂, welches dafür sorgt, dass es immer wärmer wird, in unserer Atmosphäre verringert werden.

Da die Menschheit allerdings in borealen Zonen Rodungen durchführt, stoppt die CO₂-Aufnahme und es werden große Mengen Kohlendioxid freigesetzt. Absterbende Bäume (z.B. durch Abholzung) geben mehr Kohlenstoffdioxid ab, als sie aufnehmen. Würden die Menschen nicht roden, sondern wieder mehr Bäume wachsen lassen, könnte wieder vermehrt CO₂ aufgenommen und Sauerstoff abgegeben werden.

Ein weiteres Problem ist, dass Bäume erst mehrere Jahre wachsen müssen, um vermehrt CO₂ aufnehmen zu können.

Beispielsweise die Buche: Um eine Tonne CO₂ aufnehmen zu können, muss die Buche etwa 80 Jahre wachsen.

Fazit: Der Menschheit läuft die Zeit davon. Die Rodungen müssen sofort gestoppt werden und mit der Aufforstung muss zeitgleich begonnen werden.

³¹ Wikipedia B1

5.3. Amazonas Regenwald (Finnja Schweers)

Der Amazonas Regenwald ist als „grünen Lunge des Planeten“ bekannt. Es ist derzeit jedoch nicht absehbar, ob der Amazonas diese Aufgabe auch noch in Zukunft erfüllen kann.

Der Amazonas Regenwald ist ein einzigartiges Phänomen. In ihm findet circa jedes zehnte Lebewesen sein Zuhause. So konnte eine unvergleichliche Artenvielfalt und das größte Ökosystem unserer Erde entstehen.³²

Der Regenwald ist ein sich selbsterhaltendes System. Durch die äquatoriale Sonneneinstrahlung verdunstet ein Großteil der Feuchtigkeit aus dem Wald, woraus sich Wolken bilden. Diese lösen sich in Niederschläge im Flachland und auf Höhe der Anden auf. So gelangt die notwendige Feuchtigkeit wieder in den Wald zurück.³³ Erwärmt sich das Erdklima weiterhin, wird ein starker Rückgang dieser Niederschläge zu verzeichnen sein. Bedingt durch die zurzeit vorherrschenden Waldbrände erscheint dies zusehends gefährdet zu sein.³⁴

Der Regenwald ist darüber hinaus eine bedeutende Kohlenstoffsенке³⁵. Ein Viertel des weltweiten CO₂-Austausches zwischen Atmosphäre und Biosphäre findet im Amazonas statt. Ohne diesen Regenwald gäbe es gewaltige Auswirkungen auf das Erdklima, wie zum Beispiel die Verstärkung der durchschnittlichen globalen Temperatur. Wenn weiter gerodet werden sollte, gibt es bald keine Wälder mehr. Damit würden sich die Treibhausgase verstärken und das bislang aufgenommenen CO₂ würde wieder freigesetzt werden.

Wenn die Temperatur auf über 2 Grad Celsius ansteigen würde, würde der Regenwald in einen Hitzestress geraten. Daraus würde eine eingeschränkte Wasserverdunstung resultieren. Die Folge hieraus würde wiederum der Trockenstress sein. Der Wald wird sich an das neue Klima, also an die Trockenheit, anpassen müssen. Mögliche sichtliche Anpassungen wären saisonale Wälder oder riesige Graslandschaften.

Der brasilianische Präsident Jair Bolsonaro möchte keine Umweltpolitik betreiben. Er möchte vielmehr die Wirtschaft Brasiliens durch die verstärkte Nutzung des Amazonas Regenwaldes stärken. Präsident Bolsonaro möchte durch Abholzung und Brandrodung eine Ausweitung von Agrar- und Viehflächen vorantreiben, wodurch riesige Waldflächen - auch auf Kosten der der einheimischen, indigenen Völker - verloren gehen würden. Im Juni 2019 wurden circa 2254 Quadratkilometer Regenwald abgeholzt, was ein Anstieg um 278% im Vergleich zum Jahr 2018 darstellt.³⁶ Aber bereits in den vorherigen Jahren gab es einen massiven Rückgang an Waldfläche, was in Abbildung 11 sehr deutlich wird. Der weitere Verlust des Regenwalds wird gravierend sein und in drei Stufen antizipiert. Die erste Stufe beinhaltet die Rodung riesiger Flächen, wie es von Bolsonaro gewollt ist. In der zweiten Stufe wird die Vegetation verdrängt bzw. sich an trockenere Bedingungen anpassen. Möglicher

³² Vgl. Seynsche (2019)

³³ Eine Kohlenstoffsенке ist ein Reservoir zeitweiliger oder sogar dauerhafter CO₂ Aufnahme.

³⁴ Vgl. Seynsche (2019)

³⁵ Zwischenzeitliche oder dauerhafte CO₂ Aufnahme

³⁶ Vgl. Zeit Online (2019)

Weise wird sich der Wald in der dritten Stufe in Gänze zurückziehen müssen. Bolsonaro stellt eine größere Gefahr dar.³⁷

Brasilien ermorde laut Global Witness sogar die meisten Naturschützer, die der Rodung entgegenwirken wollen.³⁸ Laut Christopher Reyer, Forscher am PIK-Institut, trägt die Rodung 0,3 Grad Celsius zur globalen Erwärmung bei.

Problematisch sind in diesem Zusammenhang natürlich auch die Folgen für das Klima. Dies stellt eine Gefahr für das Pariser Klimaabkommen und das damit verbundene 1,5 Grad-Ziel dar.³⁹

Wie bereits einleitend dargestellt, reagieren die Regionen der Welt unterschiedlich auf mögliche klimatische Veränderungen. Gerade für den Amazonas könnte das Erreichen dieses kritischen Schwellenwert verheerende Folgen haben. Wird diese Grenze überschritten, können entweder Jahrzehnte bis zu einer sichtbaren Veränderung vergehen oder diese Veränderungen können sehr schnell eintreten. Wir können es nicht vorhersagen.⁴⁰ Der Klimawandel war in dieser Form noch nie vorhanden. Wir haben schon längst die Möglichkeit einzugreifen verloren.⁴¹ In circa 50 Jahren wird der Regenwald den wir kennen, in dieser Form nicht mehr existieren. Schwindet der Regenwald, schwindet mit ihm eine einzigartige Biodiversität, die zugleich noch immer ein wichtiger Hoffnungsträger einer möglichen Systemerholung darstellt.



Abbildung 11: Veränderung des Amazonas Regenwaldes von 2001 bis 2012⁴²

³⁷ Vgl. Lüdemann

³⁸ Vgl. Global Witness (2018)

³⁹ Vgl. Szeglat (2018)

⁴⁰ Vgl. Lüdemann und Reimann (2019)

⁴¹ Vgl. Lüdemann und Reimann (2019)

⁴² Urban (2014)

6. Fazit und Ausblick (Wiebke Mollenhauer und Lewe B. Jannsen)

Abschließend können wir definitiv sagen, dass es katastrophale Auswirkungen auf unsere Zukunft hätte, wenn wir so weitermachen. Um den anthropogenen Klimawandel zu stoppen sind einer Reihe an Maßnahmen notwendig. Jedoch würden verspätete Maßnahmen dafür sorgen, dass uns die Kontrolle über unseren Planeten langsam aus der Hand gleitet.

Die in der Analyse und Auswertung genannten Kippelemente haben einen äußerst großen Einfluss auf unsere Möglichkeiten.

Damit diese Kippelemente nicht fallen, sollten wir versuchen die Klimaerwärmung unter einer durchschnittlichen Erwärmung von 1,5°C zu lassen. Schon das Erreichen von einer Erwärmung von >2°C führt dazu, dass einige Kippelemente unaufhaltsam fallen.

Die Tagesschau stellt dieses Phänomen sehr bildlich in folgendem Zitat dar: Stellen Sie sich ein Auto vor, das einen Hang hinaufgeschoben wird. Wenn das Auto einmal über die Kante rüber ist, dann rauscht es ab. [...] Wenn wir es über die Kante hinüberschoben haben, kippt es mit einer Wucht, der wir dann wenig entgegenzusetzen haben."

Es ist also schwierig einen genauen Zeitpunkt zu nennen, wann wir die Möglichkeit eigentlich wirklich verlieren, den anthropogenen Klimawandel aufzuhalten, und dabei sind Kippelemente wie der indische Sommermonsun oder die Permafrostböden sehr entscheidend für die Entwicklung. Denn vieles ist miteinander verkettet. Ein gutes Beispiel dafür ist die Verbindung zwischen Permafrostböden und El Niño. Beim Abschmelzen der Permafrostböden wird viel Kohlenstoffdioxid freigesetzt was z.B. El Niño verstärkt. El Niño hat wiederum Auswirkungen auf das Leben der Korallen in den Tropischen Korallenriffen.

Somit verschwindet die Möglichkeit einzugreifen nicht von heute auf morgen und ist nicht exakt zu bestimmen, sondern ist eine unscheinbare Entwicklung über einen langen und unklaren Zeitraum.

Literaturverzeichnis

Albat, Daniela (2019): *Grönländisches Eisschild als Methanschleuder?*,
Verfügbar im Internet unter URL:
<https://www.wissenschaft.de/erde-klima/groenlaendischer-eisschild-als-methanschleuder/>
[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Bildungsserver (a): *Eisschilde*,
verfügbar im Internet unter URL:
<http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Eisschilde>
[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Bildungsserver (b): *Kipppunkte im Klimasystem*,
verfügbar im Internet unter URL:
https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kipppunkte_im_Klimasystem
[zuletzt abgerufen am 27. Oktober 2019]

Bildungsserver (c): *Wälder im Klimawandel*,
verfügbar im Internet unter URL:
https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Wälder_im_Klimawandel
[zuletzt abgerufen am 27. Oktober 2019]

Dambeck, Holger (2018): *Warum der Klimawandel die Gefahr von Hitzewellen erhöht*,
verfügbar im Internet unter URL:
<https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/hitzewellen-im-sommer-klimawandel-koennte-jetstream-veraendert-a-1235959.html>
[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Dehmer, Dagmar und Ehlerding, Susanne (2016): *Welche Spuren hinterlässt El Niño?*,
verfügbar im Internet unter URL:
<https://www.tagesspiegel.de/politik/wetterkatastrophe-welche-spuren-hinterlaesst-el-nino/13563616.html>
[zuletzt abgerufen am 26. Oktober 2019]

Dore, J.F. (2009): *G20 Klimafakten ohne Hysterie betrachtet Teil 3 (4): Die Ozeane versauern*,
verfügbar im Internet unter URL:
<https://www.eike-klima-energie.eu/tag/ozean-versauerung/?print=print-search>
[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Dunlop, Ian und Spratt, David (2019): *Existential climate-related security risk: A scenario approach*,

verfügbar im Internet unter URL:

https://docs.wixstatic.com/ugd/148cb0_90dc2a2637f348edae45943a88da04d4.pdf

[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Eberl, Tino (2019): *Klimawandel: Kippelemente: Destabilisierung des Jetstreams*,

verfügbar im Internet unter URL:

<https://www.tino-eberl.de/oeko-nachrichten/939-klimawandel-kippelemente-destabilisierung-des-jetstreams.html>

[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Freie Universität Berlin: *Permafrost*,

verfügbar im Internet unter URL:

<https://www.geo.fu-berlin.de/v/pg-net/geomorphologie/periglazialmorphologie/Permafrost/index.html>

[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Geohilfe: *Die Boreale Zone*,

verfügbar im Internet unter URL:

<http://geohilfe.de/oekozonen-nach-schultz/die-boreale-zone/>

[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Global Witness (2018): *International NGOS Issue stark warning to be Bolsonaro on climate change & human rights*,

verfügbar im Internet unter URL:

<https://www.globalwitness.org/en/press-releases/international-ngos-issue-stark-warning-bolsonaro/>

[zuletzt abgerufen am 26. Oktober 2019]

Greenpeace (2012): *Ist der Klimawandel noch aufzuhalten?* (Autor unbekannt),

verfügbar im Internet unter URL:

<https://www.greenpeace.de/themen/klima/klimawandel/ist-der-klimawandel-noch-aufzuhalten>

[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Greenpeace (2014): *„Korallen - Ein tropisches Farbenparadies stirbt“*,

verfügbar im Internet unter URL:

<https://www.greenpeace.de/themen/artenvielfalt/korallen-ein-tropisches-farbenparadies-stirbt>

[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Hölck, Lisa und Torkuhl, Sophie (2011): „*Der indische Sommermonsun*“, verfügbar im Internet unter URL:
<http://bildungsserver.hamburg.de/contentblob/3158620/76ff3f8c25cefa78042f98b0b41530ab/data/2011-indischer-monsun.pdf>
[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Ingenieur.de: *Grönlandisches Eisschild schmilzt jährlich um zehn Gigatonnen* (Autor unbekannt), verfügbar im Internet unter URL:
<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/umwelt/groenlaendischer-eisschild-schmilzt-jaehrlich-um-zehn-gigatonnen/>
[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

von Schönebeck, Gudrun (2014): „*A statistically predictive model for future monsoon failure in India*“, verfügbar im Internet unter URL:
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/7/4/044023>
[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

IPCC Weltklimabericht (2014): *Kipp-Elemente* (Autor unbekannt), verfügbar im Internet unter URL:
<http://www.ipcc14.de/kommentare/23-glossar/k/47-kipp-elemente>
[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Kalte Sonne (2012): „*Neue PIK-Studie sagt Monsunstörung vorher: Zeit für einen Faktencheck*“ (Autor unbekannt), verfügbar im Internet unter URL: <https://kaltesonne.de/neue-pik-studie-sagt-monsunstorung-vorher-zeit-fur-einen-faktencheck/>
[zuletzt abgerufen am 26. Oktober 2019]

Kasang, Dieter (n.b.): *Korallenriffe im Klimawandel*, verfügbar im Internet unter URL:
<https://bildungsserver.hamburg.de/natuerliche-oekosysteme-nav/3611198/korallenriffe/>
[zuletzt abgerufen am 27. Oktober 2019]

Klein, Daniel (2009): *Expertenantwort zu der Frage: Wie viele Bäume braucht es, um eine Tonne CO₂ zu binden?*, verfügbar im Internet unter URL:
<https://www.co2online.de/service/klima-orakel/beitrag/wie-viele-baeume-braucht-es-um-eine-tonne-co2-zu-binden-10658/>
[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Koch, Roland (2016): *Permafrost - Da taut sich was zusammen*,
verfügbar im Internet unter URL:
https://www.helmholtz.de/erde_und_umwelt/da-taut-sich-was-zusammen/
[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Koppe, Wolfgang und Heold, Wiebke (2018): *Infoblatt Permafrost*,
verfügbar im Internet unter URL:
<https://www.klett.de/alias/1012406>
[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Levermann, Andres und Schewe, Jacob (2012): *A statistically predictive model for future monsoon failure in India. Environmental Research Letters*,
verfügbar im Internet unter URL:
<https://www.pik-potsdam.de/aktuelles/nachrichten/archiv/2012/monsoon-might-fail-more-often-due-to-climate-change>
[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Lüdemann, Dagny und Reimer, Nick (2018): *Was, wenn die Welt am 1,5-Grad-Ziel scheitert?*,
verfügbar im Internet unter URL:
<https://www.zeit.de/wissen/umwelt/2018-08/klimawandel-erderwaermung-duerre-risiko-klima-forschung-kippelemente>
[zuletzt abgerufen am 27. Oktober 2019]

Pawlitzki, Helene: *Hintergrund: Korallen - Schutz vor dem Untergang*,
verfügbar im Internet unter URL:
<https://www.planet-schule.de/wissenspool/klimawandel/inhalt/hintergrund/korallen-schutz-vor-dem-untergang.html>
[zuletzt abgerufen am 27. Oktober 2019]

Planet Schule: *Kippelemente als Modul*,
verfügbar im Internet unter URL:
https://www.planet-schule.de/mm/kippelemente/#/?_k=zxrw60
[zuletzt abgerufen am 27. Oktober 2019]

Lenton, Timothy et al.: *Tipping elements in the Earth's climate system*,
verfügbar im Internet unter URL:
<https://www.pnas.org/content/105/6/1786>
[zuletzt abgerufen am 27. Oktober 2019]

Potsdam Institut für Klimaforschung (2017): *Kippelemente – Achillesfersen im Erdsystem*,
verfügbar im Internet unter URL:
<https://www.pik-potsdam.de/services/infothek/kippelemente/kippelemente>
[zuletzt abgerufen am 27. Oktober 2019]

Quarks (2018): „5 tickende Zeitbomben, die unser Klima radikal verändern würden“, verfügbar im Internet unter URL:
<https://www.quarks.de/umwelt/klimawandel/diese-5-kippelemente-beschleunigen-die-klimaerwaermung/>
[zuletzt abgerufen am 27. Oktober 2019]

Reitzki, Sabine und Forkel, Matthias (2012): „Infoblatt Monsun“, verfügbar im Internet unter URL:
https://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=Infothek_artikel&extra=TERRA-Online%20/%20Realschule&artikel_id=107907&inhalt=klett71prod_1.c.313764.de
[zuletzt abgerufen am 27. Oktober 2019]

Roß, Jan (2017): *Der stärkste Monsun seit Langem*, verfügbar im Internet unter URL:
<https://www.zeit.de/gesellschaft/zeitgeschehen/2017-08/monsun-suedasien-regenueberschwemmungen>
[zuletzt abgerufen am 27. Oktober 2019]

Schrader, Christopher (2018): *Wie Domino-Effekte die Erde in eine Heißzeit treiben könnten*, verfügbar im Internet unter URL:
<https://www.sueddeutsche.de/wissen/klimawandel-kippelemente-1.4084429?print=true>
[zuletzt abgerufen am 27. Oktober 2019]

Seynsche, Monika (2019): *Die Folgen der Amazonas-Brände*, verfügbar im Internet unter URL:
https://www.deutschlandfunk.de/zerstoerung-des-regenwaldes-die-folgen-der-amazonas-braende.676.de.html?dram:article_id=459508
[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Szeglat, Marc (2018): *Klimawandel: Kippelemente und Heißzeit*, verfügbar im Internet unter URL:
<http://www.vulkane.net/blogmobil/klimawandel-kippelemente-und-heisszeit/>
[zuletzt abgerufen am 27. Oktober 2019]

Tagesspiegel: *Das große Schmelzen und seine Folgen*, verfügbar im Internet unter URL:
<https://www.tagesspiegel.de/wissen/klimawandel-das-grosse-schmelzen-und-seine-folgen/23957036.html>
[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Will, Steffen et al. (2018): *Trajectories of the Earth System in the Anthropocene*,
verfügbar im Internet unter URL:

<https://www.pnas.org/content/pnas/115/33/8252.full.pdf>

[zuletzt abgerufen am 26. Oktober 2019]

Wikipedia: „*Indischer Monsun*“,

verfügbar im Internet unter URL:

https://de.wikipedia.org/wiki/Indischer_Monsun

[zuletzt abgerufen am 27. Oktober 2019]

Zeit Online (2019): *Abholzung des Amazonas-Regenwalds stark ausgeweitet (Autor unbekannt)*,

verfügbar im Internet unter URL:

<https://www.zeit.de/wissen/2019-08/brasilien-regenwald-abholzung-rodung-amazonaswald-weltrauminstitut?print>

[zuletzt abgerufen am 26. Oktober 2019]

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:

Potsdam Institut für Klimaforschung (2017): *Kippelemente – Achillesfersen im Erdsystem*, verfügbar im Internet unter URL

<https://www.pik-potsdam.de/de/produkte/infothek/kippelemente/kippelemente>
[zuletzt abgerufen am 26. Oktober 2019]

Abbildung 2:

Koch, Roland (2016): *Da taut sich was zusammen*, verfügbar im Internet unter URL

https://www.helmholtz.de/erde_und_umwelt/da-taut-sich-was-zusammen/
[zuletzt abgerufen am 26. Oktober 2019]

Abbildung 3:

Wikipedia B2: Slingerland, Bart/ User: „Rex“ (2005): *Grönländischer Eisschild*, verfügbar im Internet unter URL

https://de.wikipedia.org/wiki/Grönländischer_Eisschild
[zuletzt abgerufen am 26. Oktober 2019]

Abbildung 4:

Dehmer, Dagmar und Ehlerding, Susanne (2016): *welche Spuren hinterlässt El Niño?*, verfügbar im Internet unter URL

<https://www.tagesspiegel.de/politik/wetterkatastrophe-welche-spuren-hinterlaesst-el-nino/13563616.html>
[zuletzt abgerufen am 26. Oktober 2019]

Abbildung 5:

Forkel, Matthias und Reitzki, Sabine (2012): *Infoblatt Monsun*, verfügbar im Internet unter URL

https://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=Infothek_artikel&extra=TERRA-Online%20/%20Realschule&artikel_id=107907&inhalt=klett71prod_1.c.313764.de
[zuletzt abgerufen am 26. Oktober 2019]

Abbildung 6:

Wikipedia B3: User: „Brisbane“: *Thermohaline Zirkulation*, verfügbar im Internet unter URL

https://de.wikipedia.org/wiki/Thermohaline_Zirkulation
[zuletzt abgerufen am 26. Oktober 2019]

Abbildung 7:

Dambeck, Holger (2018): *Warum der Klimawandel die Gefahr von Hitzewellen erhöht*, verfügbar im Internet unter URL

<https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/hitzewellen-im-sommer-klimawandel-koennte-jetstream-veraendert-a-1235959.html>
[zuletzt abgerufen am 28. September 2019]

Abbildung 8:

Walker, Richard (2017): *Klimawandel und Artensterben - Wie man Korallen doch noch retten könnte*, verfügbar im Internet unter URL

<https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.goodimpact.org%2Fsites%2Fgoodimpact.org%2Ffiles%2Fkorallen.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.goodimpact.org%2Fmagazin%2Fwie-man-korallen-doch-noch-retten-k%25C3%25B6nnte&docid=ZEA3vRJO3b2dDM&tbnid=2KbRUq58OQyfhM%3A&vet=1&w=1280&h=847&bih=920&biw=1920&ved=2ahUKEwjH0-7qn-7kAhUPZ1AKHeC6CVMQxiAoBHoECAEQHA&iact=c&ictx=1>

[zuletzt abgerufen am 26. Oktober 2019]

Abbildung 9:

Spiegel Online (2016): *Die Korallen erblassen*, verfügbar im Internet unter URL

<https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.spiegel.de%2Fimages%2Fimage-1077962-galleryV9-yfej.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.spiegel.de%2Fwissenschaft%2Fnatur%2Fgreat-barrier-reef-die-korallen-erblassen-a-1127779.html&docid=LB8gH3ubIYRXHM&tbnid=Sdcy2SIV6dK6iM%3A&vet=1&w=850&h=637&bih=920&biw=1920&ved=2ahUKEwji5daCoO7kAhWIEVAKHcUcALwQxiAoAnoECAEQGA&iact=c&ictx=1>

[zuletzt abgerufen am 26. Oktober 2019]

Abbildung 10:

Wikipedia B1: User: „Ökologix“, „Fährtenleser“: *Boreale Zone*, verfügbar im Internet unter URL

https://de.wikipedia.org/wiki/Boreale_Zone

[zuletzt abgerufen am 26. Oktober 2019]

Abbildung 11:

Urban, Karl (2014): *Der Regenwald, Kettensägen und Satelliten*, verfügbar im Internet unter URL

<https://scilogs.spektrum.de/astrogeo/der-regenwald-kettensaegen-und-satelliten/>

[zuletzt abgerufen am 26. Oktober 2019]