

Universität Trier

Fachbereich VI – Raum- und Umweltwissenschaften

B.Sc. Angewandte Geographie

Global Change Wintersemester 2017/18

Frau Dr. Reichert-Schick

Herr Prof. Dr. Casper (Vertreten durch Herrn Dr. Seeger)

# Klimawandelfolgen in Deutschland

## Auswirkungen und Anpassungsstrategien

Abgabedatum: 09.01.2018

**Nikolaos Kolaxidis**

4. FS

Matrikelnummer 1175610

Kloschinskystr. 81, 54292 Trier

+49 (0) 1577 2464444

s6nikola@uni-trier.de

**Domenic Christian May**

3. FS

Matrikelnummer 1159367

Robert-Schuman-Allee 4, 54296 Trier

+49 (0) 1525 9733166

s4domayy@uni-trier.de

**Dominik Schwarz**

5. FS

Matrikelnummer 1230074

Adolph-Kolping-Straße 4, 54295 Trier

+49 (0) 1577 2424650

s6dkschw@uni-trier.de

**Heidrun Walter**

3. FS

Matrikelnummer 1321596

Auf Blehn 4, 54294 Trier

+49 (0) 176 70817063

s6hewalt@uni-trier.de

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	III
1. Einleitung.....	1
1.1. Einführung in die Thematik: Global Change und Klimawandel.....	1
1.2. Klimamodellierung und Problematik des Klimawandels.....	3
1.3. Der natürliche Klimawandel.....	6
1.4. Der Mensch greift ein.....	11
2. Klimawandel in Deutschland.....	15
2.1. Geographische Einordnung.....	15
2.2. Analysemethoden des Klimas .....	15
2.3. Klimaveränderungen deutschen Klimas.....	16
2.3.1. Temperatur.....	16
2.3.2. Niederschlag.....	18
2.3.3. Sonneneinstrahlung, Küstengebiete und Meeresspiegel.....	20
3. Gesundheitsauswirkungen in Deutschland.....	22
3.1. Auswirkungen der Temperatur.....	22
3.2. Meteorologische Auswirkungen.....	25
3.3. Weitere Faktoren der Gesundheitsbeeinträchtigung.....	27
3.3.1. Klimawandel zugunsten invasiver Erreger .....	27
3.3.2. Auswirkungen der begünstigten Luftverschmutzung.....	28
4. Maßnahmen der Bundesregierung.....	30
4.1. Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel.....	31
4.1.1. Folgen Energiewirtschaft.....	33
4.1.2. Folgen Finanzwirtschaft.....	34
4.1.3. Folgen Industrie und Gewerbe.....	35
4.1.4. Anpassungsstrategien Gewerbe.....	35
4.1.5. Anpassungsstrategien Energiewirtschaft.....	36
4.2. Bevölkerungsschutz.....	37
4.3. Schutzmaßnahmen Gesundheit.....	38
4.4. Küstenschutz.....	41
5. Fazit.....	43
Literaturverzeichnis.....	44
Anhang.....	47

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Temperaturverlauf global der letzten 1000 Jahre.....	47
Abbildung 2: Temperaturverlauf global der letzten 420.000 Jahre.....	47
Abbildung 3: Temperaturverlauf global der letzten 542 Millionen Jahre.....	48
Abbildung 4: Die große Beschleunigung.....	12
Abbildung 5: Jahresmitteltemperatur in Deutschland 1880 – 2010.....	17

# 1. Einleitung

Wir werden tagtäglich darauf angesprochen, die Politik diskutiert ständig darüber, wir werden auf dessen baldigen Auswirkungen auf unser aller Leben aufmerksam gemacht, selbst unsere Universität führt in der Geographie ein extra Modul dafür ein: Global Change – oder wie es im deutschen fälschlicherweise übersetzt wird – der Klimawandel. „Change“ bezeichnet einen Wandel, „Global“ lässt schon darauf hindeuten, dass Wandel auf der gesamten Erde wirkt, also letztendlich auf alles Leben, das wir kennen. Der Begriff meint einen Wandel in allen geographischen Sphären sowohl der physischen als auch der Humangeographie. Wir erleben einen Wandel in den Verhaltensweisen des Menschen durch einen Wandel in der Natur. Dieser wird vom Menschen beeinflusst – das ist der Kernpunkt heutiger Diskussionen rund um den Globalen Wandel. Wie ändert sich das Klima? Ist der Mensch dafür verantwortlich? Was dürfen wir hier in Deutschland für Veränderungen erwarten und wie reagiert die Politik auf den Klimawandel? Welche Auswirkungen können klimatische Veränderungen auf die menschliche Gesundheit haben?

Im vorletzten Jahr (2016) hatten wir einen globalen Temperaturrekord, die geschätzte Durchschnittstemperatur der Erde hatte zum ersten Mal seit Aufzeichnungsbeginn 14,8 °C überschritten (vgl. UMWELT DIALOG 2017, o.S.). Welche Gründe hat es, dass es wie in *Abbildung 1* zu sehen seit ca. 1950 exponentiell immer wärmer wird? Was ist Global Change und wieso ist es so wichtig, sich darüber bewusst zu werden, was es eigentlich heißt und wie darauf reagiert werden sollte?

Diese Hausarbeit dient dazu, einen Überblick über den Globalen Wandel und insbesondere den Klimawandel im Allgemeinen zu geben und später die Auswirkungen und die Anpassungsstrategien von deutscher Seite aufzudecken. Wie steht Deutschland zum Klimawandel? Wie wandelt sich die Gesellschaft, was müssen wir befürchten und welche Chancen bieten sich?

## 1.1. Einführung in die Thematik: Global Change und Klimawandel

Global Change im Allgemeinen beschreibt die Änderung des Klimas und allen damit einhergehenden Veränderungen sowohl in der Natur als auch zum Beispiel in der Landwirtschaft, der industriellen Produktion und der ökonomischen Strategieentwicklung

durch sich „*verschärfende weltumspannende Umweltprobleme, deren Ursache in einer anthropogen bedingten Übernutzung beziehungsweise Beeinflussung der Ökosysteme der Erde einhergehend mit einer starken Bevölkerungszunahme und einem starken wirtschaftlichen Wachstum seit Beginn der Industrialisierung*“ (SPW 2001, o.S.) liegt.

Das Klima verändert sich – das ist inzwischen unumstritten. Mit dem Klima verändern sich jedoch auch viele spezielle Aspekte der Natur: Niederschläge und Extremwetterereignisse nehmen zu oder bleiben aus, der Meeresspiegel steigt, die Vegetation vergeht an manchen Regionen der Erde und an anderen gedeiht sie mehr als zuvor. Den Menschen trifft der Wandel besonders: er muss sich mit neuen Methoden und Innovationen sein Überleben sichern und sich neuen Gegebenheiten und natürlichen Standortfaktoren stellen und sich daran anpassen. Das Erdbild wandelt sich, es gerät durch anthropogene Einflüsse aus dem natürlichen Gleichgewicht, und der Mensch muss sich in seinem Verhalten darauf einstellen, das ist mit Global Change gemeint (vgl. IPCC 2014, S. 40, 47f, 50).

Im Deutschen wird der Globale Wandel fälschlicherweise als „Klimawandel“ bezeichnet, dabei bezieht sich dieser Begriff auf den Hauptaspekt des Globalen Wandels: dem anthropogenen Einfluss auf das Klimageschehen auf der Erde. Im Laufe der Erdgeschichte haben sich das Klima und die Flora und Fauna auf der Erde vielfach verändert, doch nie war der Mensch beteiligt gewesen an den Veränderungen – bis heute. Seit der neolithischen Revolution emittiert der Mensch vorher nie da gewesene oder nur in sehr geringen Mengen vorhandene chemische Verbindungen in Atmo- und Hydrosphäre und damit in den globalen Klima- und Stoffkreislauf. „*Der Mensch greift in das Klimasystem ein, indem er Spurenstoffe freisetzt und die Erdoberfläche durch Landnutzung verändert*“ (BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 10). Aus diesem Grund wirkt er seither im globalen Klima mit (vgl. STANLEY 2016, S. 27).

Einige Tausend Jahre später im 21. Jahrhundert sind die Verhältnisse jedoch klar aus dem Ruder geraten: durch die exponentielle Bevölkerungszunahme weltweit seit 1950 und einer neuen wirtschaftsorientierten Industriegesellschaft seit der industriellen Revolution im 18. und 19. Jahrhundert sind die Emissionsmengen der modernen technisierten Menschheit so groß geworden, dass wir heute davon ausgehen müssen, dass der anthropogene Einfluss auf das Klima den Klimawandel heute ordentlich ankurbelt – ob der Mensch die Ursache für den Wandel ist, wird jedoch noch diskutiert (vgl. IPCC 2014, S. 40, 47f.). Fest steht, dass er durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe, der Rodung von gigantischen (Regen-)Waldflächen und

der Methanfreisetzung durch die Viehhaltung maßgeblich am Klimawandel beteiligt ist (vgl. KOPPE et al. 2017, o.S.); auch der IPCC (2014, S. 47) sieht diese Annahme als *extrem wahrscheinlich*<sup>1</sup> an.

Bei dieser Annahme gibt es aber viele Problematiken wie die Quantifizierung der Treibhauseffizienz einzelner Stoffe oder der Erstellung von Prognosen für den weiteren Verlauf des Klimawandels. In der Hausarbeit sollen Fragen beantwortet werden wie „wie funktioniert der Klimawandel eigentlich und warum gibt es globale Veränderungen?“, „hat der Mensch den Klimawandel erschaffen?“, „welche Veränderungen wirken in den einzelnen geographischen Sphären?“ und „welche Methoden werden benutzt, um solche Aussagen zu treffen?“.

## 1.2. Klimamodellierung und Problematik des Klimawandels

*„Eine Vielzahl von Beobachtungen zeigt, dass sich das Klima verändert. Um der Gesellschaft eine informierte Antwort darauf zu ermöglichen, ist es notwendig, Natur und Ursachen des Wandels zu verstehen und die mögliche zukünftige Entwicklung zu charakterisieren.“* (BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 8). Dazu werden Klimamodelle herangezogen, die durch mathematische Gleichungen, dessen Werte auf historischen und heutigen Messwerten beruhen, versuchen, die Komplexität des Klimawandels in anschaulichen Graphiken darzustellen. Mithilfe dieser ist es möglich, prognostizierende Aussagen zu treffen, was sowohl für die Ökonomie wie auch für die Politik extrem wichtig ist (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 8).

Daten für die Modelle erhalten die Wissenschaftler durch die Auswertung von heutigen Messungen sowie Klima-Proxydaten. „Klima-Proxies sind geologische, physikalische, chemische oder biologische (Meß-)parameter [...], aus denen sich qualitative oder quantitative Paläoklimaaussagen ableiten lassen“ (SPW 1999, o.S.), wie zum Beispiel historische Aufzeichnungen, geologische Strukturen oder auch heutige Lebensformen oder Organismen, die mit ihren aktuellen Lebensräumen und Eigenschaften bei ähnlichen verwandten Tierarten aus vergangenen Zeiten ähnliche Standorteigenschaften zeigen. Auch die Isotopenverhältnisse chemischer Elemente wie Sauerstoff und Kohlenstoff in chemischen Verbindungen (Wasser, Karbonate) geben Aufschluss über das Klima während ihrer Bildung,

---

1 Übersetzung von „*extremely likely*“ – entspricht laut IPCC ca. 95 % Wahrscheinlichkeit

wenn sie denn zum Beispiel luftdicht in Eisbohrkernen eingeschlossen wurden. Je weiter man jedoch in die Vergangenheit blickt, desto unsicherer werden natürlich jegliche aufgenommenen Daten. Vor allem vor dem Tertiär (60 Millionen Jahre) werden die Unsicherheiten sehr groß (vgl. SPW 1999, o.S.), sodass die Wahrscheinlichkeit über korrekte Aussagen über das genaue Klima geringer wird. Klima-Proxies können in Klimaarchiven gefunden werden, die in Form von zum Beispiel Sedimenten, Fossilien und eben genannte Eisbohrkernen auftreten (vgl. SPW 1999, o.S.). Durch die Akkumulation von Proxydaten aus mehreren Klimaarchiven können Aussagen zu dem damaligen Klima verbessert werden. Durch eben diese Datenauswertung und -zusammenfassung entstehen mit Computersimulationen und Berechnungen Klimamodelle, die den Verlauf des erdgeschichtlichen Klimas aufzeigen und Prognosen über den weiteren Verlauf treffen können.

Die frühesten Klimamodelle aus den 70er Jahren zeigten das Zusammenspiel zwischen Sonneneinstrahlung und vertikalen Luftströmungen (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 8). Durch diese war schon zu erkennen, dass der extraterrestrische Parameter Sonneneinstrahlung ein wichtiger Faktor des Temperaturgleichgewichtes darstellt. Kurz darauf kam der Gedanke auf, dass die Einstrahlung neben der Aktivität der Sonne auch von den Parametern der Erdumlaufbahn (vgl. SPW 1999, o.S.) abhängig ist. Dadurch wurden diese ersten Modelle schon wesentlich komplizierter. Im Laufe der letzten 50 Jahre wurden diese Modelle weiterentwickelt und mit weiteren auch irdischen Faktoren erweitert – dadurch entstanden die heutigen Klimamodellierungen. Noch ist das Klimasystem der Erde nicht hundertprozentig erforscht, wodurch in allen Berechnungen und Schätzungen kleine bis große Unsicherheiten herrschen. Trotzdem fließen in heutige Klimamodelle Daten aus fast allen uns bekannten Komponenten des Klimasystems inklusive der Atmosphäre, des Ozeans, der Meereisentwicklung, Daten von der Landoberfläche, aus Stoffkreisläufen, Treibhausgaskonzentrationen, Aerosoldichten und vielen weiteren mehr (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 8f.). Auch Rückkopplungen zwischen den Komponenten werden heutzutage berücksichtigt und mit einberechnet. Dadurch werden die Modelle extrem komplex, sodass sich viele Wissenschaftler gezwungen sehen, bestimmte Aussagen durch eine treffende Wahl der Achseneinheiten zu visualisieren.

Ein solches Modell ist in *Abbildung 1* erkennbar, dort wird unter Anderem die Temperaturentwicklung der letzten 1000 Jahre aufgezeigt. Das exponentielle Aufsteigen der



Kurve ab 1950 scheint im Kontext gefährlich, doch ist es ein Aufstieg von nicht einmal einem Grad Celsius. In *Abbildung 2*, welche den Verlauf der globalen Durchschnittstemperatur der letzten 420.000 Jahre zeigt, ist zu erkennen, dass sich die globale Durchschnittstemperatur der Erde in wenigen tausend Jahren um ganze 12 Grad Celsius geändert hat – diese Differenz hatte unterschiedliche Klimate auf der Erde als Folge: Kaltzeiten mit Gletschervorstößen bis Mitteleuropa und Interstadiale mit einem undefinierten Gletscherrückzug (vgl. SALZMANN 2012, o.S.).

Gewählt wurde die Achseneinheit bei *Abbildung 1* also, um den Fokus auf die Exponentialität des Temperaturanstiegs zu lenken. Grund dafür ist, dass für uns Menschen die Erwärmung der Durchschnittstemperatur um nur zwei Grad Celsius schon gefährlich wird, denn zum einen wird nach WILHELM (2007, o.S.) der Meeresspiegel durch schwindende Eisschilde vor allem Grönlands steigen, wodurch viele Inselstaaten und Küstenregionen betroffen sind, wo mehr als 45 % der Weltbevölkerung leben (vgl. WOR 2010, S. 60), und zum anderen, weil es unter Umständen gehäuft zu Extremwetterereignissen wie Starkregen, Dürren und Wirbelstürmen kommen kann. Wahrscheinlich ist auch eine Umverteilung der Niederschläge in verschiedenen Regionen sowie eine größere Spannweite zwischen regionalen Temperaturminima und -maxima (vgl. IPCC 2014, S. 53; KOPPE et al. 2017, o.S.; SPW 2000, o.S.). Welche Auswirkungen der anthropogen verstärkte Klimawandel noch genau haben wird, ist entweder unklar oder nur bedingt gesichert, denn einen so stark präsenten anthropogenen Eingriff in das Klimageschehen der Erde gab es in der ganzen Geschichte unseres Planeten nie, weswegen die Vergangenheit nicht vollständig zur Hilfe gezogen werden kann und Prognosen meist auf Schätzungen oder logischen Schlussfolgerungen beruhen. Auch die verschiedenen Modelle zeigen uneinheitliche Werte für den Temperaturanstieg und ändern sich proportional zu prognostizierten Treibhausgaskonzentrationen in naher Zukunft (vgl. IPCC 2014, S. 59f.) und möglichen unvorhersehbaren Ereignissen wie Vulkanausbrüchen, Meteoriteneinschlägen und so weiter. Sie stimmen jedoch alle in dem Punkt überein, dass es einen Wandel gibt und weiterhin geben wird und dass der Mensch eine große Rolle dabei spielt. „[...] [Es ist] jetzt ‚extrem wahrscheinlich‘, dass der Mensch mehr als die Hälfte des seit 1951 beobachteten Anstiegs der global gemittelten Temperatur verursacht hat“ (BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S.13).

Die Frage, die sich also tatsächlich stellt, ist nicht, ob der Mensch den Klimawandel erschaffen hat beziehungsweise der Hauptgrund dafür ist beziehungsweise viel dazu beiträgt,

sondern wie wir gegen ihn vorgehen und uns anpassen werden und ob die Natur unter Umständen auch mit anthropogener Hilfe zu kompensieren weiß. Vielen Lesern ist oft nicht bewusst, dass der Klimawandel auch hier in Deutschland wirkt und verstärkt wirken wird. Dass Global Change nicht nur in Orten auf der anderen Seite der Welt stattfindet, sondern auch hier in Europa. Welche Auswirkungen können in Deutschland schon beobachtet werden und welche dürfen wir in naher Zukunft erwarten? Interessant dabei ist ein Fokus auf Deutschland, weil sich hier ein Land mit finanziellen Möglichkeiten zur Adaption (Anpassung) an den und vielleicht auch zum Teil zur Mitigation (Verhinderung) des Klimawandel(s) bietet. Ebenso können viele Mittel in die Entwicklung neuer Technologien und Innovationen investiert werden. Auch das nötige Know-How sollte vorhanden sein. Werden diese Mittel eingesetzt und wenn ja, wie? Wie adaptieren sich Land, Konzerne und Leute an den Klimawandel? Das wird den Hauptteil dieser Ausarbeitung ausmachen.

Doch bevor Auswirkungen hier in Deutschland und dessen Anpassungsstrategien aufgezeigt werden können, sollte eine Einführung in den Klimawandel gegeben werden. Wie der Klimawandel funktioniert und welchen Einfluss der Mensch dabei auf einem globalen Maßstab nimmt, wird im folgenden Abschnitt genauer erläutert.

### **1.3. Der natürliche Klimawandel**

Um den Klimawandel heute zu verstehen, muss man weit zurück in die Erdgeschichte blicken und verstehen, wie sich das Klima auf natürliche Weise gebildet und verändert hat. Es gab seit der Entstehung des Sonnensystems und der Erde vor rund 4,6 Milliarden Jahren mehrere Eiszeitalter und akryogene<sup>2</sup> Warmklimata auf der Erde. Definiert sind diese Zeitalter durch den Vereisungsgrad der beiden Polregionen: sind sie vereist, so ist es ein Eiszeitalter, sind sie eisfrei, sprechen wir von einem Warmklima (vgl. SALZMANN 2012, o.S.). Beeinflusst werden die Polregionen durch einen wesentlichen Faktor: den Energiehaushalt der Erde (vereinfacht die Temperatur). Klar, dass der Energiehaushalt mit unglaublich vielen natürlichen Prozessen zusammen hängt, welche ebenso miteinander wechselwirken und so das dynamische Klimasystem generieren. Nach OLAF BUBENZER und ULRICH RADTKE (2007, S. 18f.), die sich an RAHMSTORF'S UND SCHELLNHUBER'S „Der Klimawandel. Diagnose, Prognose, Therapie“ (München 2007) orientieren, gibt es drei wesentliche Einflussfaktoren für den

---

2 Bedeutung etwa „kein Eis bildend“

Energiehaushalt beziehungsweise die Energiebilanz der Erde: zum einen orbitale und extraterrestrische Parameter wie die Sonnenaktivität und die sich über bestimmte nicht ganz erforschte Zeiträume ändernde Exzentrizität<sup>3</sup>, Obliquität<sup>4</sup> und Präzession<sup>5</sup> (vgl. SPW 1999, o.S.) der Erde und Erdumlaufbahn, zum anderen die Albedo der Erde, also wie viel Strahlung wieder in den Weltraum durch Reflexion von hellen Flächen (Eis, Wolken, fehlende Vegetation) zurückgestrahlt wird, sowie die Zusammensetzung der Atmosphäre, sprich Treibhausgase und Aerosole, die bestimmen, wie viel Wärmestrahlung reflektiert oder absorbiert werden. Im Grunde ist der Energiehaushalt tatsächlich nichts anderes als die Temperatur auf der Erde, da durch Reflexion, Absorption und Transmission der Sonneneinstrahlung die Temperatur aus der Energiebilanz resultiert.

Änderungen in diesen Einflussfaktoren ziehen Änderungen in der Temperatur mit sich, wodurch sich das terrestrische Klima ändert. Dabei ist ein kleiner Anstoß meist schon ausreichend für große klimatische Veränderungen, weil sich Effekte im komplexen Klimasystem häufig selbst gegenseitig verstärken. Dieses gegenseitige Verstärken wird positive Rückkopplung genannt und kann am Beispiel des Albedo-Effektes von Eismassen erklärt werden: *„Führt eine Abkühlung zu einer vermehrten Eisbildung, so vergrößert sich dadurch die Albedo, was die Abkühlung weiter verstärkt“* (BUBENZER/RADTKE 2007, S. 19). Es gibt viele natürliche positive Rückkopplungen und mit die wichtigste in heutigen Diskussionen angesprochene ist der Treibhauseffekt. Der Treibhauseffekt entsteht durch eine Akkumulation von Aerosolen und Treibhausgasen (die wichtigsten sind Kohlenstoffdioxid [CO<sub>2</sub>], Methan [CH<sub>4</sub>], Distickstoffmonoxid [N<sub>2</sub>O] und Wasserdampf) sowie Wolken in der Atmosphäre, die einen Teil der von der Oberfläche reflektierten Strahlung „absorbier[en] und in alle Richtungen, also auch zum Erdboden hin, wieder emittier[en]“ (BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 9f.). Dadurch entstehen innerhalb der Atmosphäre und am Boden durch einen natürlichen Prozess die nötigen Temperaturen, um Leben zu ermöglichen. Der Treibhauseffekt ist demnach lebenswichtig. Doch bei größeren Konzentrationen an Treibhausgasen (insbesondere Wasserdampf) entstehen mehr Treibhausgase (insbesondere Wasserdampf durch Evapotranspiration), wodurch der Treibhauseffekt abermals verstärkt wird. Dabei bindet ein wärmerer Ozean weniger CO<sub>2</sub>, sodass auch dieses Gas in die Atmosphäre gelangt und wieder den Effekt verstärkt. Ebenso werden Gashydrate (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S und vor allem CH<sub>4</sub> mit Wasser im Boden gebunden) aus

---

3 Bewegung der Erde in der Umlaufbahn (Ellipse)

4 Neigung der Erdachse

5 Kreiselbewegung der Erdachse

schmelzenden Permafrostböden oder dem sich erwärmenden Meeresboden freigesetzt, welches ( $\text{CH}_4$ ) eine noch höhere Treibhauseffizienz als  $\text{CO}_2$  aufweist. Auch schmelzende Eisschilde setzen Gashydrate frei. Kleinere Eisflächen weisen zudem eine geringere Albedo auf, wodurch weniger Strahlung vom Boden reflektiert wird. Auch bei großen Vulkanausbrüchen oder heftigen Meteoriteneinschlägen, die viele Aerosole und Treibhausgase freisetzen, kann der Treibhauseffekt wesentlich verstärkt werden (vgl. KOPPE 2017, o.S.; BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 8ff.). Die positive Rückkopplung besteht also darin, dass mit der Erhöhung der Temperatur andere Prozesse in Gang gesetzt werden, die die Temperatur weiter erhöhen. Orbitale und irdische Parameter tragen dabei beide zum Energiehaushalt und zum Treibhauseffekt bei.

Jedoch strahlt jedes Objekt – auch die Erde – mehr Wärme ab je wärmer es wird. Ebenso reflektieren Wolken, die durch Aerosole, die als Kondensationskeime fungieren, vermehrt entstehen, und Schwefelverbindungen, die beim Vulkanismus besonders ausgestoßen werden, Strahlung direkt wieder in den Weltraum. Bei höheren Temperaturen wird auch das Wald- und Pflanzenwachstum begünstigt, wobei Grünpflanzen durch die Photosynthese viel  $\text{CO}_2$  aufnehmen. Dies sind negative Rückkopplungen, also Prozesse, die die Temperaturerhöhung wieder abschwächen (vgl. BAGLEY 2014, o.S.; BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 10). Grünpflanzen haben auch weiteres Positives: sie nehmen  $\text{CO}_2$  auf und wandeln es mit Strahlung in chemische Energie um, die sie zum Wachsen brauchen. Dieser Prozess nennt sich Photosynthese und der Sauerstoff, der dabei als Nebenprodukt entsteht, ermöglicht komplexen Lebensarten das Leben. Neben Wäldern wachsen auch Algen und Cyanobakterien, die wahrscheinlich ersten Lebewesen der Erde, bei günstigen Temperaturen gut. Forscher gehen davon aus, dass diese niederen Lebensformen den Sauerstoffgehalt der Atmosphäre angereichert haben und so höheres Leben überhaupt erst möglich gemacht haben (vgl. LFU 2016, S.3). Ebenso bildet sich aus Sauerstoff Ozon, welches die für Lebewesen gefährliche direkte UV-Strahlung der Sonne um ca. 97–99 % abschwächt und mit dem Magnetfeld der Erde als eine Art Schutzschild fungiert (vgl. SPARLING 2001, o.S.). Der Treibhauseffekt setzt also Prozesse in Gang, die ihn sowohl verstärken als auch abschwächen und so den Energiehaushalt der Erde und damit die globale durchschnittliche Temperatur regulieren.

Neben dem Treibhauseffekt spielen auch Meeresströmungen eine wichtige Rolle für die globale Durchschnittstemperatur und vor allem für die Temperaturverteilung. Durch die Kontinentalverschiebungen und die Plattentektonik kam es in der Erdgeschichte häufig dazu,

dass Kontinente auseinander drifteten und Meeresströmungen ermöglichten oder aufeinander trafen und Meeresströmungen abbrachen, was zusammen mit der einhergehenden Änderung der Albedo und weiteren Folgen Warmklimate und Eiszeiten begünstigte. Meeresströmungen werden beeinflusst von den Gravitationskräften der Sonne und des Mondes (Ebbe/Flut; orbitale Parameter), durch Winde und durch die Tiefenwasserbildung am Rand der Arktis und Antarktis (vgl. LFU 2016, S.3; NOAA 2017a, o.S.). Im Bezug zum Klimawandel ist bei Meeresströmungen vor allem die Thermohaline<sup>6</sup> Tiefenwasserbildung und -zirkulation von Interesse. Diese entsteht nach NOAA (2017b, o.S.) folgendermaßen: an den Polregionen wird das Wasser abgekühlt, sodass sich Eis bildet. Dadurch wird das umliegende Wasser salziger, da ihm das Wasser entzogen wird, und die Dichte des flüssigen Wassers steigt. In Folge dessen sinkt es in größere Tiefen und neues Wasser wird zum Eis gespült. Dieses wird ebenso salziger und dichter und sinkt auch herab. Weiteres Wasser strömt zu den Polregionen. Durch diesen Kreislauf entsteht eine tiefe Wasserströmung, die im Ozean am Meeresboden strömt – die thermohaline Zirkulation. Dieser Kreislauf ist präsent auf der ganzen Welt, weil das Tiefenwasser der Arktis nach Süden fließt, an der Antarktis weiteres salziges dichtes Wasser mitnimmt und dann in den Indischen Ozean sowie in den Pazifik fließt. Dort erwärmt sich das Wasser wieder und steigt langsam zur Oberfläche, wo es dann als Oberflächenströmung warmes Wasser Richtung Westen und Norden transportiert bis zur Arktis, wo es dann wieder zu Tiefenwasser wird. Eine solche Oberflächenströmung ist zum Beispiel der Golfstrom, welcher warmes Wasser nach Europa transportiert. Dadurch sind die Temperaturen in Europa wesentlich höher als die der anderen Regionen auf denselben Breitengraden, anschaulich wird das beim Vergleichen von Lissabon und New York (38°N und 40°N), Lissabon weist mediterranes Klima auf, New York dagegen ein im Vergleich kühleres gemäßigtes Klima (vgl. MERKEL o.J.a und o.J.b, beides o.S.). Für Europa ist die Funktion der Arktis als Tiefenwassertreiber also vor Allem wegen des Golfstroms sehr wichtig. Setzt er aus, werden die Temperaturen in Europa kühler. Insgesamt beeinflusst die Thermohaline Zirkulation die gesamten Meeresströmungen unter zwei Kilometer Tiefe, wobei die Oberflächenströmungen bis zwei Kilometer Tiefe von der Sonne erhitzt werden und bis 100 Meter Tiefe der Wind die Strömungen steuert und erhitzt beziehungsweise abkühlt (vgl. NOAA 2017c, o.S.). Hier lässt sich die windgetriebene Zirkulation finden, die regionale Strömungen verursacht. Beides ist Bestandteil des globalen maritimen Strömungssystems. Die thermohaline Zirkulation ist wichtig: „Warm surface waters are depleted of nutrients and carbon dioxide, but they are

---

6 Bedeutung etwa „temperatur- und salzabhängig“

enriched again as they travel through the conveyor belt as deep or bottom layers. The base of the world's food chain depends on the cool, nutrient-rich waters that support the growth of algae and seaweed<sup>7</sup>“, so der National Ocean Service (NOAA 2017c, o.S.). Doch ist die Zirkulation recht labil, denn schwinden die Eismassen oder werden sie durch wärmeres Gletscherschmelzwasser verdünnt, so wird der Tiefenwassereffekt behindert oder setzt aus und die Meeresströmungen können die so wichtige Temperaturverteilung nicht aufrechterhalten, sie werden merklich langsamer oder setzen gänzlich aus (vgl. NOAA 2017d, o.S.). Dadurch gerät das Klima außer Kontrolle.

Das Klimasystem ist extrem komplex, wodurch für eine Arbeit, deren Fokus eher auf den Auswirkungen und Adaptionstrategien in Deutschland liegt, das Erklären des ganzen Klimasystems (falls das denn überhaupt möglich ist) absolut aus dem Rahmen fällt. Als Zwischenfazit ist jedoch zu sagen, dass viele dynamische Prozesse dynamisch verknüpft sind und das Klima dynamisch gestalten. Ebenso ist zu erwähnen, dass der Klimawandel niemals auf der ganzen Erde gleichzeitig gleiche Auswirkungen aufweist. Es gibt zwar global gesehen Eis- und Warmzeiten, doch ist nicht die gesamte Erde eisfrei oder mit Eis bedeckt. Dass der Klimawandel unterschiedliche Folgen für unterschiedliche Regionen haben kann, ist am Beispiel des Golfstroms (siehe oben) gut zu sehen oder auch so wie HELD UND SODEN (2006, o.S.) schon annahmen und schreiben: „*wet regions get wetter and dry regions drier*“<sup>8</sup>.

Alle Prozesse und nicht statische Komponenten des Klimasystems stehen ständig in einem dynamischen Zusammenhang und wird eine Komponente verändert, so verändert sie alle anderen. Der Klimawandel ist also durchaus nicht menschengemacht, es gibt ihn ganz natürlich. Das kann auf *Abbildung 3* gut erkannt werden, hier wird der Temperaturverlauf der letzten 542 Millionen Jahre gegenüber dem heutigen Mittelwert aufgezeigt. Auf Grundlage ähnlicher Graphiken des Autors der Abbildungsquelle kann ausgesagt werden, dass „wärmer“ und „kälter“ bei den Maxima der globalen Durchschnittstemperatur durchaus Temperaturunterschiede von 20, 25 oder sogar über 30 °C bedeuten können, was in Anbetracht der Dynamik der Prozesse des Klimasystems gigantische Klimaveränderungen vermuten lässt. Auch ohne anthropogenen Einfluss hat sich das Klima oft und stark geändert und ohne den natürlichen Klimawandel wäre die Evolutionsgeschichte sicherlich anders

---

7 Übersetzung: „Bei warmen Oberflächenwässern sind Nährstoffe und Kohlenstoffdioxid meist aufgebraucht, doch werden sie im Zuge der Thermohalinen Zirkulation als strömende Tiefenwässer wieder damit angereichert. Die Basis der globalen Nahrungskette ist abhängig von den kühlen nährstoffreichen Wässern welche das Wachstum von Algen und Seetang (marine Grünpflanzen) begünstigen.“ – eigene Übersetzung.

8 Übersetzung: „Feuchte Regionen werden feuchter und trockene Regionen trockener“ – eigene Übersetzung

verlaufen.

## **1.4. Der Mensch greift ein**

Nach der Entstehung der Erde war wenig von Ozeanen und Kontinenten, geschweige Vegetation oder Atmosphäre zu sehen. In dieser Zeit war die Erde ein sich ständig wandelnder heißer Feuerball, auf dem die Entstehung von Leben so gut wie unmöglich war. Erst eine Abkühlung der Oberfläche führte zur Bildung einer festen kontinentalen Kruste. Wasserdampf aus dem häufigen Vulkanismus und Eis von Meteoriten ließen wahrscheinlich die Bildung von Wasser und einer zirkulierenden Atmosphäre zu (vgl. LFU 2016, S. 1). In vielen hunderten Millionen von Jahren verschoben sich Kontinente (Plattentektonik und Kontinentalverschiebung), sodass sich die Albedo der Erde änderte, es entstanden Meeresströmungen, die einen Wärmetransport ermöglichten oder unterbrachen, brachen weitere Vulkane aus und schlugen Meteoriten ein, die große Mengen an Gasen und Aerosolen freisetzten. Auch die Position der Erde zur Sonne und die Sonnenaktivität änderten sich – all das trug dazu bei, dass sich die Temperatur oft und stark änderte (vgl. LFU 2016, S.2f.). Jahrmillionen lang war das Klima von einem ständigen Wechsel geprägt und doch hat sich die Flora und Fauna auf der Erde entwickelt wie sonst nirgendwo.

Und dann kam der Mensch.

Erst lebte er als Jäger und Sammler im Einklang mit der Natur und war Teil des Natursystems. Doch nach der letzten Eiszeit, als die Böden fruchtbar wurden und der Mensch den Ackerbau und die Viehzucht erfand, seit der neolithischen Revolution also, seitdem entwickelte er sich auf einem eigenen Zweig der Evolution weiter. Er begann die Natur seinen Bedürfnissen anzupassen und nutzte neue Technologien um dies zu erreichen. Dabei kamen Prozesse in Gang, die nicht natürlichen Ursprungs waren. So wurde mit breit gefächerten Folgen die Erdoberfläche verändert, sprich Wälder gerodet und landwirtschaftliche Nutzflächen angelegt, ein aktiver Eingriff in die Natur. Während des Ackerbaus und der Viehzucht wurden auch Stoffe freigesetzt, die unter Umständen chemisch nicht in der Natur vorkommen, wodurch der Mensch auch dadurch aktiv in die Natur eingriff. Abfälle häuften sich und wurden anfangs ohne Wissen über die ökologischen Folgen in Flüssen entsorgt. Später kamen Verkehrswege und Bebauung hinzu, wodurch Böden versiegelt wurden und Stoffflüsse beeinträchtigt wurden. Auch das Entnehmen von Nutz- und Trinkwasser im großen Stil war und ist immer

noch ein starker Eingriff in die Natur (vgl. SPW 2000, o.S.). Der Mensch griff also in die Natur und das Klimasystem ein, indem er Aktivitäten durchführte, die den Strahlungshaushalt beeinflussten.

Die Entwicklungen eines Teiles der Emissionen und Eingriffe des Menschen in die Natur während der menschlichen Geschichte können in folgender *Abbildung 4* betrachtet werden:

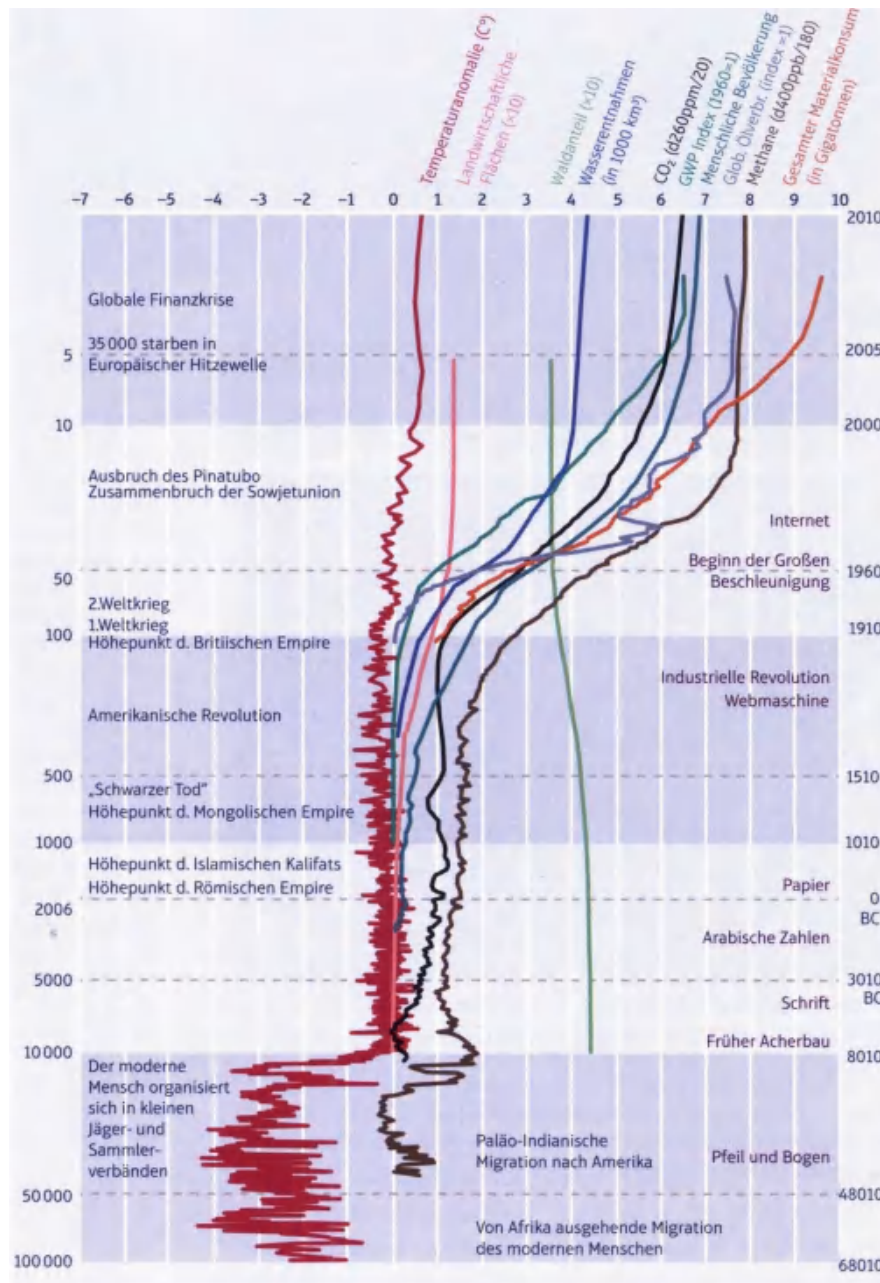


Abb. 4: GLASER (2014): Die große Beschleunigung, S. 28.

Nach der letzten Eiszeit, als die Temperaturen noch zwei/drei Grad Celsius unter dem Niveau seit der neolithischen Revolution und des Aufkommens des Ackerbaus lagen, stiegen die



Werte nur sehr langsam an, was auf die noch wenig technisierte und vergleichsweise kleine Weltpopulation zurückzuführen ist. Am markantesten ist bei solchen Graphiken immer das exponentielle Ansteigen der Kurven ab dem 19. Jahrhundert, als die Industrialisierung die westliche Welt eroberte und durch Technik Unnatürliches produzierte (z. B. Eisen und Stahl, Plastik etc.). In den erbauten Fabrikkomplexen wurden vor Allem fossile Energieträger und Holz verbrannt um Wärmeenergie zu erhalten, wobei viele Treibhausgase und Aerosole emittiert wurden. Neben eines Rückgangs der Waldflächen und des dazu fast proportionalen Anstiegs der landwirtschaftlichen Nutzflächen stiegen fast alle Emissionswerte inklusive CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und generell des Global-Warming-Potential-Indexes (GWP Index) exponentiell an – wahrscheinlich auch wegen des ebenso exponentiellen Anstiegs der Weltbevölkerung und der folgenden Globalisierung. Der GWP-Index gibt dabei an, welches Treibhauspotential in der Atmosphäre steckt, also im Grunde wie viele Treibhausgase in die Atmosphäre emittiert wurden und ihre Treibhauseffizienz. Einhergehend mit einer stark wachsenden Weltbevölkerung sind logischerweise auch steigende Abfallproduktion, Ölverbrauch, Wasserentnahmen und der Gesamtmaterialekonsum (vgl. *Abbildung 4*; SPW 2000, o.S.; LFU 2016, S. 5f.).

In Rot gefärbt ist die Kurve der Temperatur, leicht ansteigend seit dem besagten 19. Jahrhundert – durchaus eine logische Folge in Anbetracht der steigenden Emissionen und des GWP-Index. An sich sieht der Anstieg nicht nach viel aus, doch wurden oben schon die komplexen Auswirkungen eines nur leichten Anstiegs der Temperatur aufgezeigt. *„Abhängig vom Szenario ergibt sich im Modellmittel ein mittlerer globaler Temperaturanstieg bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um 1,7 – 4,4 °C, verglichen mit der Zeit von 1850 – 1900. Über den Kontinenten wird sich die Atmosphäre deutlich stärker erwärmen als über den Ozeanen. Daneben sind weitere spürbare Veränderungen des Klimas zu erwarten: So wird z. B. der Meeresspiegel weiter ansteigen und das Meereis weiter zurückgehen“* (BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 15). Die Temperatur der vorangegangenen Vergletscherungsphase scheint der Abbildung nach zumindest am Ende auch nur drei/vier Grad Celsius unter dem heutigen Niveau gelegen zu haben, da wird einem klar, dass wenige Grad Änderung große Auswirkungen haben können. Die Auswirkungen könnten unter Umständen also tatsächlich drastisch sein.

Es könnte ausgesagt werden, dass der Klimawandel seit der Industrialisierung anthropogener Herkunft ist, doch wäre eine einfache Gegenmeinung, dass die Temperatur nicht so stark

steigt wie der Rest der Graphen eigentlich provozieren würde. Nun, ob der Klimawandel tatsächlich menschengemacht ist, ist wie oben schon gesagt eine andere Frage. Vielmehr geht es in heutiger Zeit darum, dass der Mensch am Klimawandel beteiligt ist und wie wir ihn abschwächen und uns an die möglichen irreversiblen Folgen adaptieren können, und um das zu zeigen, werden nach einem kurzen Überblick über das geographische Anschauungsobjekt – die Bundesrepublik Deutschland – die Auswirkungen des Klimawandels hier in Deutschland sowohl physisch als auch für die Gesellschaft und die menschliche Gesundheit und im weiteren Verlauf die von der Bundesregierung empfohlenen Anpassungsstrategien aufgezeigt.

## **2. Klimawandel in Deutschland**

### **2.1. Geographische Einordnung**

Um die Auswirkungen des Klimawandels zu verstehen, ist zunächst eine Verortung der Fläche nötig, die näher betrachtet werden soll, in diesem Fall Deutschland. Im Zentrum von Europa gelegen, wird es von neun Nachbarländern umgeben (Polen, Tschechien, Österreich, Schweiz, Luxemburg, Frankreich, Belgien, Niederlande und Dänemark). Es zählt zu der warm-gemäßigten Zone der mittleren Breiten und liegt in einem klimatischen Einflussbereich vom maritimen westeuropäischen Wetter und dem eher kontinentalen osteuropäischen Wetter. Das Klima ist geprägt vom Zusammentreffen der feuchten atlantischen Luft aus Westen und den trockeneren Luftmassen aus dem kontinentalen Osten. Die Luftmassen aus Osteuropa führen im Winter kalte Luft mit sich und im Sommer warme (vgl. DEUTSCHER WETTERDIENST 2017, S. 4; BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE o.J., o.S.).

Da Deutschland sehr großflächig ist, sind auch die klimatischen Zirkulationen sehr großräumig. Dies führt dazu, dass eine sehr große Klimavariabilität vorherrscht und die Jahreszeiten in verschiedenen Jahren sehr differenziert auftreten können (vgl. DEUTSCHER WETTERDIENST 2017, S. 4).

Nachdem nun geklärt wurde welches Teilgebiet im folgenden näherbetrachtet werden soll und die dortigen naturräumlichen Gegebenheiten erläutert wurden, wird im nächsten Kapitel beschrieben, mit welchem Aufwand die Klimaveränderungen aufgezeichnet und analysiert werden.

### **2.2. Analysemethoden des Klimas**

Um die Klimaveränderungen zu beschreiben, muss zuvor geklärt werden, was Klima überhaupt ist. Die Weltorganisation für Meteorologie beschreibt den Begriff Klima folgendermaßen: „Klima ist die Synthese des Wetters über einen Zeitraum, der lang genug ist, um dessen statistischen Eigenschaften bestimmen zu können“ (DEUTSCHER WETTERDIENST 2017, S. 6).

Klima ist immer ortsgebunden und um das Klima zu beschreiben, werden in Deutschland große Zeiträume betrachtet und ausgewertet. Der DEUTSCHE WETTERDIENST (DWD), der in

Deutschland den gesetzlichen Auftrag zur Überwachung des Wetters hat, empfiehlt Zeitreihen von mindestens 30 Jahren um verlässliche Aussagen zu tätigen. Denn das Klima unterliegt von Natur aus kurzzeitigen Schwankungen (vgl. DEUTSCHER WETTERDIENST 2017, S. 6; BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 19).

Um das Klima und seine Veränderung im kompletten Bundesgebiet zu erfassen, ist ein großes Netz aus Messstationen notwendig. Der Deutsche Wetterbund betreibt 182 Wetterwarten auf den zum Beispiel Lufttemperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Niederschlag gemessen und aufgezeichnet wird. Der Geoinformationsdienst der Bundeswehr unterhält zeitgleich 31 dieser Wetterwarten. Zusätzlich gibt es 500 Messstellen für die Temperatur, 1900 für den Niederschlag, 210 für den Luftdruck, 300 jeweils für Wind und Sonnenscheindauer und 121 für die Sonneneinstrahlung. Dieses sehr komplexe Netz aus Messstationen ist eine hervorragende Grundlage für gute und fundierte Analysen des Klimas in Deutschland (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 19f., 58).

Das nächste Kapitel geht näher auf die verschiedenen Veränderungen des Klimas in Deutschland ein. Es werden Messreihen vorgestellt die Trends aufzeigen und es wird ein Ausblick in die Zukunft gegeben, der auf Modellen von Studien und Analysen beruht.

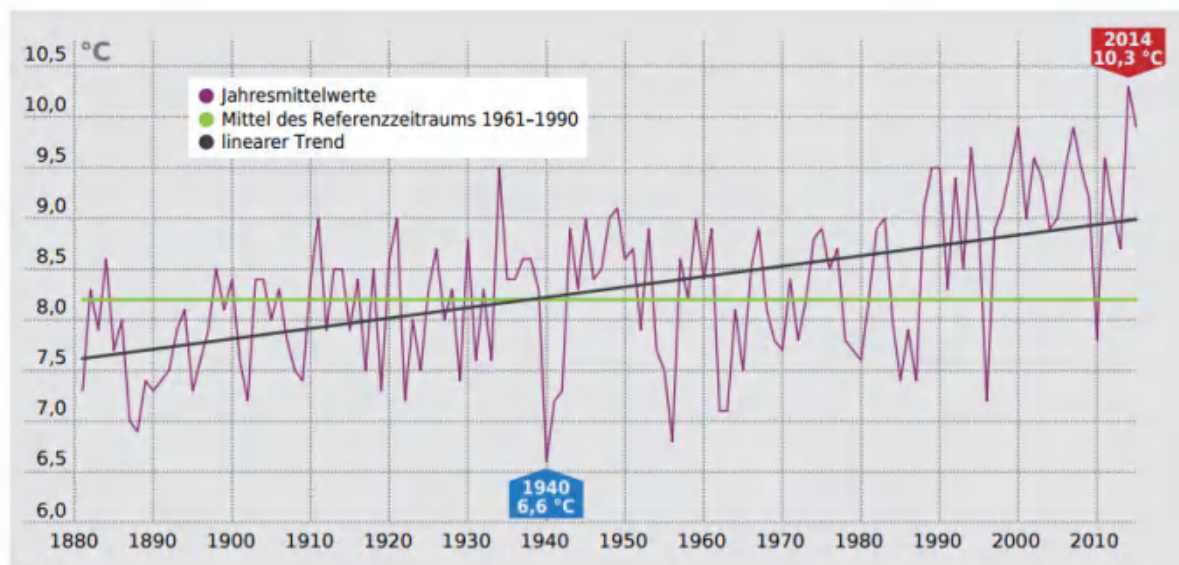
## **2.3. Klimaveränderungen deutschen Klimas**

### **2.3.1. Temperatur**

Die Veränderungen der Temperatur sind wohl neben der Veränderung bei Niederschlagsereignissen die, die den Menschen am schnellsten auffallen und die ihn am ehesten beschäftigen. Die Erhöhung und die Spitzenwerte von einigen Temperaturen im letzten Jahrhundert lassen die ersten Auswirkungen des Klimawandels erahnen. Vor allem in unseren Regionen sollte der Klimawandel öffentlich thematisiert werden, denn die Erwärmung in Deutschland ist höher als auf der restlichen Erde im Durchschnitt. Es ist jedoch auch wichtig zu wissen, dass der Anstieg der Temperaturen nicht gleichmäßig verläuft. Das bedeutet, dass nicht jedes „wärmer“ sein muss als das vorherige. Es gibt neben der Phase des Anstiegs auch Phasen in denen der Temperaturanstieg stagniert und natürlich gibt es auch Jahre in denen die Durchschnittstemperatur sinkt. Wie in folgender *Abbildung 5* zu sehen sind bis 1940 und ab 1980 die Anstiege am eindeutigsten zu erkennen. Dazwischen liegen auch einige Jahre in denen die Durchschnittstemperatur deutlich gesunken ist, zum Beispiel 1940

(vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 21; UMWELTBUNDESAMT 2015, S. 15).

Mit einer Mitteltemperatur von 9,5 °C war das Jahr 2016 ein relativ warmes Jahr, was dem Trend der letzten Jahre entspricht. Bis 2014 stieg die Jahresmitteltemperatur um 1,3 °C auf 10,3 °C an (siehe *Abbildung 5*). Bis 2016 erhöhte sie sich nochmal um 0,1 °C. Zudem kommt, dass 2014 das wärmste Jahr seit 1881 ist und dass das 21. Jahrhundert geprägt ist von diesen warmen Jahren (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 21; DEUTSCHER WETTERDIENST 2016b, S. 5). „Zehn der 17 wärmsten Jahre liegen im 21. Jahrhundert“ (DEUTSCHER WETTERDIENST 2017, S. 14f.).



▲ Es ist wärmer geworden in Deutschland: Jahresmittel der Temperatur (Flächenmittel aus Stationsmessungen in 2 m Höhe) von 1881-2015.

Abb. 5: DEUTSCHER WETTERDIENST (2017): Jahresmitteltemperatur in Deutschland 1880 – 2010, S. 15.

Aber nicht nur die jährlichen Durchschnittstemperaturen ändern sich. 10 Monate waren im vorletzten Jahr wärmer als in der Referenzperiode von 1961 bis 1990. Auch die Tagesmitteltemperaturen wurden höher. Dadurch kann es häufiger zu sogenannten Hitzetagen kommen und Extremwetterereignisse wie länger anhaltende Hitzeperioden können entstehen. Seit 1950 haben sich die Tage mit einer Tagesmaximaltemperatur von mindestens 30 °C oder höher (Hitzetag) von drei auf neun verdreifacht. Gleichzeitig ist die Anzahl der Tage, dessen Tiefsttemperatur unter 0 °C liegt (Frosttag), um ganze 9 Tage von 28 auf 19 gesunken, was sich durch die allgemeine Erwärmung begründen lässt. Festzuhalten ist dabei, dass die heißen Tage überwiegend in Süddeutschland verortet werden können und die Frosttage eher im kontinental geprägtem Osten von Deutschland (vgl. DEUTSCHER WETTERDIENST 2017, S. 16;

DEUTSCHER WETTERDIENST 2016a, S. 16; BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 55; DEUTSCHER WETTERDIENST 2016b, S. 5).

Durch den Anstieg der Durchschnittstemperaturen wird es in Zukunft mit hoher Wahrscheinlichkeit dazu kommen, dass besonders die warmen Extremtemperaturen gehäuft vorkommen. Beispielhaft dafür: 2015 wurde in der Großen Kreisstadt Kitzingen in Mainfranken mit 40,3 °C die höchste jemals gemessene Lufttemperatur in Deutschland erreicht. Diese erhöhten Temperaturen und auch erhöhte Anzahl an heißen Tagen führt zu längeren Hitzeperioden. Diese treten in den letzten 20 Jahren immer häufiger in Deutschland auf. Der Deutsche Wetterdienst fand für das Beispiel Hamburg heraus, dass dort von Mitte des 20. Jahrhunderts bis 1993 keine Ereignisse einer Hitzeperiode (in diesem Fall 14 Tage) protokolliert wurden. Bis 2015 waren es bereits vier. Ähnliches gilt für das Beispiel Mannheim. In den 43 Jahren von 1950 bis 1993 gab es dort weniger Hitzeperioden (11), als in den 21 Jahren von 1994 bis 2015 (12) (vgl. DEUTSCHER WETTERDIENST 2017, S. 16; BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 48).

Die Forschung geht davon aus, dass in Zukunft die Anzahl von heißen Tagen (Hitzetag) weiter steigt und gleichzeitig die Anzahl von Frosttagen weiter sinkt. Im Vergleich zu 1971–2000 sollen bis 2100 die Frosttage um 30–70 Tage im Jahr zurückgehen und die Anzahl der Sommertage (Tageshöchsttemperatur von mindestens 25 °C) könnte sich verdoppeln. Dies würde bedeuten, dass Regionen in Südwest-Deutschland von April bis September alle zwei Tage eine Tageshöchsttemperatur von mindestens 25 °C hätten (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 51).

Im Vergleich zu der Referenzperiode 1971–2000 soll die bodennahe Lufttemperatur in Deutschland bis 2100 im Winter zwischen 1,2 °C und 4,6 °C steigen, im Sommer sogar um 1,3 °C bis 4,3 °C (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 32; DEUTSCHER WETTERDIENST 2016a, S. 17).

### **2.3.2. Niederschlag**

Naturereignisse, die durch das Klima beeinflusst sind, verursachten im zwischen 1970 und 2014 einen Gesamtschaden von 91 Milliarden Euro. 60 % davon sind auf Sturm und Unwetter zurückzuführen und 33 % auf Überschwemmungen und Massenbewegungen. Sturm, Unwetter und Überschwemmungen sind meistens Folgeerscheinungen von extrem starken

oder langanhaltenden Niederschlägen, was deutlich macht, welchen großen Einfluss diese auf unsere Umwelt und auf den Menschen haben. 2002 war mit 1018 mm das niederschlagsreichste Jahr seit 1881 und alleine die Folgen des Hochwassers von Elbe und Donau im August 2002 kosteten 14,2 Milliarden Euro und mehrere Menschen ihr Leben. Zum Vergleich: Durchschnittlich fiel in der Referenzperiode 1961 bis 1990 789 mm Niederschlag pro Jahr, also ungefähr 30 % weniger (vgl. DEUTSCHER WETTERDIENST 2017, S. 20f.; BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 46, 58).

Umso alarmierender ist die Tatsache, dass die Niederschläge in Deutschland von 1881 bis 2014 um 10,2 %, laut mancher Quellen auch um 10,6 %, zugenommen haben. Hier muss jedoch stark zwischen Sommer und Winter unterschieden werden. Denn während es im Winter zu einer Zunahme um ganze 26 % – 28 % kam, haben die Niederschläge in den Sommermonaten um 0,6 % – 1,2 % abgenommen. Herbst und Frühling sind ebenfalls von einem Anstieg der Niederschläge betroffen, auch wenn er hier eher moderat ausfällt. Aus diesem Grund ist der Anstieg der jährlichen Niederschläge vor allem der starken Zunahme im Winter geschuldet, wobei auch diese den natürlichen Schwankungen unterliegen. Diese natürlichen Schwankungen werden auch daran deutlich, dass trotz des Trends von steigenden Niederschlägen das Jahr 2016 mit 733,1 mm Niederschlag ein eher trockenes war (vgl. DEUTSCHER WETTERDIENST 2017, S. 20f.; BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 21; DEUTSCHER WETTERDIENST 2016b, S. 5; UMWELTBUNDESAMT 2015, S. 16f.).

Warum gibt es mehr Niederschläge durch den Klimawandel? Weil durch die klimawandelbedingten steigenden Temperaturen können die Luftmassen mehr Wasser aufnehmen, welches sie dann beim späteren Abkühlen als Niederschlag wieder abgeben. „Dieser Prozess wird noch dadurch verstärkt, dass der Zusammenhang zwischen Temperatur und Wassergehalt nicht linear, sondern exponentiell verläuft“ (vgl. DEUTSCHER WETTERDIENST 2017, S. 35).

Somit steigen nicht nur die Temperaturen im Verlaufe dieses Klimawandels, sondern auch die Möglichkeit von Extremwetterereignissen mit hohem Niederschlag steigt. Zudem können die Masse an Niederschlag auch dadurch zunehmen, dass sich die Strömungsmuster in der Luft verändern. Dies kann beispielsweise durch erhöhte oder veränderte Treibhausgas- oder Aerosolwerte in der Luft geschehen (vgl. DEUTSCHER WETTERDIENST 2017, S. 33ff.; BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 58).

In Klimamodellen, die zukünftige Verlaufsszenarien darstellen, wird eine weitere Zunahme

der Niederschläge in Deutschland prognostiziert. Da der Niederschlag jedoch noch variabler als die Temperatur ist, gibt es Schwankungen in den Prognosen. Modelle die von einem gleichbleibenden Ausstoß von Treibhausgasen ausgehen und in denen der Umweltschutz bis 2100 nicht weiterentwickelt wird, erreichen die Niederschläge eine Steigung von mindestens 8 % und maximal 32 %. Bei anderen Modellen die von einem verbesserten Umweltschutz und von einer drastischen Senkung der Umweltverschmutzung ausgehen, wird eine maximale Erhöhung um 17 % prognostiziert. Bei dem zweiten Modell wird es als möglich betrachtet, dass die Niederschläge um 3 % zurückgehen könnten (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 33).

### **2.3.3. Sonneneinstrahlung, Küstengebiete und Meeresspiegel**

Auch die Strahlung der Sonne wird von dem Klimawandel auf der Erde beeinflusst. Durch erhöhte Schadstoffbelastung in der Luft ist die Sonneneinstrahlung, die die Erde erreicht, stark zurückgegangen. Nach dem ersten Aufkommen von einem Bewusstsein für die Umwelt und deren Schutz in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts hat sich dies wieder verbessert. Von 1951 bis 2016 ist ein Anstieg von neun Minuten für die durchschnittliche Tagesscheindauer zu verzeichnen. Somit scheint 2016 in Deutschland durchschnittlich 254 Minuten am Tag oder 1544 Stunden im Jahr die Sonne (vgl. DEUTSCHER WETTERDIENST 2017, S. 26).

Bis 2100 rechnet der Deutsche Wetterdienst jedoch wieder mit einem Rückgang, wenn Klima- und Umweltschutz nicht ausgeweitet und intensiviert werden. Vor allem in den Wintermonaten und im Frühjahr ist mit einem Rückgang zu rechnen, sodass die durchschnittliche Sonnenscheindauer im Jahr um sechs bis zwölf Minuten sinkt. (vgl. DEUTSCHER WETTERDIENST 2016a, S. 26f.).

Starke Sturmflutereignisse sind eine Bedrohung für Deutschlands Küstengebiete an der Nord- und Ostsee. Je nach Gebiet spielen unterschiedliche Faktoren hierbei eine zentrale Rolle. Jedoch sind in der Nord- als auch in der Ostsee meteorologisch bedingte Wettererscheinungen, wie Windstau bei dem durch Windenergie Wasser entgegen seiner Fließrichtung gedrückt wird, invers-barometrische Effekte die zur Veränderung des Wasserstandes aufgrund des Luftdruckes führen oder die Beeinflussung des Seeganges durch die Windgeschwindigkeit, gleichermaßen von Bedeutung. Zusätzlich ist auch die Veränderung



des mittleren Meeresspiegels langfristig betrachtet in beiden Gebieten wichtig, um die Eintrittswahrscheinlichkeiten von verhältnismäßig starken Sturmfluten zu bestimmen.

Neben diesen Faktoren spielen die Gezeiten vor allem in der Nordsee eine wesentliche Rolle. Da die Ostsee ein so gut wie geschlossenes System darstellt, sind temporäre Schwankungen des mittleren Wasserstandes aber auch Seiches (die freie Schwingung von Wassermassen) beeinflussende Faktoren. Schaut man sich die Veränderung der Sturmflutwasserstände für beide Gebiete innerhalb der letzten 100 Jahre an so bleibt festzuhalten, dass diese maßgeblich von der Veränderung des mittleren Meeresspiegels beeinflusst wurden. Sowohl in der Nord- als auch in der Ostsee hat sich dieser in dem betrachteten Zeitraum um etwa 10–20 cm erhöht (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 78ff.).

Messungen in der Ostsee belegen einen Anstieg um 1,4 mm bis 2 mm pro Jahr, in der Nordsee sogar um 1,7 mm bis 4,1 mm pro Jahr. Bis zum nächsten Jahrhundert soll der Meeresspiegel der Nordsee um 25 cm steigen. Dieser prognostizierte Wert lässt jedoch die Gletscherschmelze außer Acht, welche den Anstieg noch antreiben könnte. Verschiedenen Zukunftsszenarien die auf Klimamodellen beruhen zeigen, dass sogar ein Anstieg von bis zu einem Meter möglich ist. (vgl. DEUTSCHER WETTERDIENST 2017, S. 29; BMWi 2015, S. 30).

Inwiefern sind die Menschen von dem steigenden Meeresspiegel betroffen? Müssen die Menschen auch andere Gefahren befürchten? Wie sich die zuvor angesprochenen klimatischen Veränderungen auf die menschliche Gesundheit auswirken und wie sie sich schützen können, wird nachfolgend erläutert.

### **3. Gesundheitsauswirkungen in Deutschland**

Die Veränderung des Klimas wirkt sich und wird sich auch weiter auf die Gesundheit der Menschen weltweit und auch auf die Bewohner von Deutschland auswirken (vgl. BRASSEUR 2014, S. 10). Unter anderem spielt besonders die Erwärmung eine indirekte als auch die Starkwetterereignisse eine direkte Rolle. Aber auch der Globale Wandel wirkt sich auch darauf aus, da Krankheiten von wärmeren Regionen unter anderem auch mitgebracht werden oder über das Einschleppen von Erregern oder Vektoren die sich unter bestimmten Bedingungen verbreiten könnten (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 143).

Im folgenden wird darauf in Bezug auf die Menschen eingegangen. Exemplarisch werden auch Gegenmaßnahmen in dem Kapitel der Anpassungsstrategien behandelt.

Die Gesundheit von vielen Menschen steht unter dem Einfluss vom Klimawandel vor allem wenn sie sich sehr häufig im Freien aufhalten, ob aus Arbeitsgründen heraus oder weil sie sich im Freien aufhalten wollen. Im Allgemeinen sind besonders Kinder, Schwangere, ältere Menschen, chronisch Kranke und teilweise auch Allergiker betroffen beziehungsweise anfällig für daraus folgende Erkrankungen. Zusammengefasst eher vulnerable Menschengruppen (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 138; BRASSEUR 2014, S. 10).

Im folgenden wird darauf eingegangen wie sich exemplarisch verschiedene klimatische und teils globale Veränderungen auf die Gesundheit der Menschen auswirken können.

#### **3.1. Auswirkungen der Temperatur**

Die Temperatur in Deutschland wird sich durch den Klimawandel erhöhen. Eine besonders ausgeprägte Erwärmung wird in Süd-Deutschland erwartet, wo die höchsten Temperaturen innerhalb Deutschlands gemessen wurden. Darunter fallen unter anderem Hessen und Rheinland-Pfalz. Auch wird mit einer Verschiebung der Niederschläge zum Winter gerechnet (vgl. RITTER 2007, S. 534). Diese Veränderung kann sich direkt wie auch indirekt, durch die Anpassung/Reaktion der Umwelt an die neuen Klimabedingungen, auf die Gesundheit der Menschen auswirken.

Eine indirekte Auswirkung wäre unter anderem die Verschiebung und Verlängerung von der

Pollenflugsaison, wobei erstmal der Pflanzenwachstum im Vordergrund steht.

Europaweit beginnt die Frühjahrsphase durchschnittlich zwei Wochen früher,- unter anderem Gräser fallen darunter (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 141), da schon früher im Jahr die Temperaturen erreicht werden, die die Pflanzen benötigen um anzufangen zu wachsen und zu blühen, wirkt sich dies dementsprechend auch auf den Beginn der Pollenproduktion aus. Hinzukommt, dass der Wachstum der Pflanzen zusätzlich von dem Anstieg der CO<sub>2</sub> – Konzentration begünstigt wird. Daraus folgend haben Menschen, die unter Pollenallergien leiden, Nachteile, da sie nun eine längere Leidensphase übers Jahr hinweg haben (vgl. BRASSEUR 2014, S. 11). Allerdings wirkt es sich nicht nur auf die Dauer des Pollenflugs aus, sondern auch auf die Pollenmenge von den Pflanzen, die abgegeben wird, steigt an. Genauso kann verzeichnet werden, dass die Pollenallergenität zu nimmt. „[Die höhere Pollenmenge kann auch zu] häufigeren, schweren allergischen Erkrankungen und neuen Sensibilisierungen“ (BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 141) führen.

Unter Sensibilisierungen ist die Bildung einer neuen Allergie, also die Bildung der entsprechenden Antikörper zu verstehen, die dann zu der entsprechenden Immunreaktion bei Kontakt mit dem Allergen auslösen. Unter (Pollen-)Allergene werden spezifische Proteine gemeint, die bei bestimmten Menschen, die sich auf das spezifische Protein sensibilisiert haben, eine immunologische Überreaktion auslösen. Diese Allergenität wird in Gebieten mit einer hohen Luftverschmutzung erhöht, da die Pollen auf den Feinstaub und Ozon reagieren (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 142).

Problematisch ist ebenfalls, dass auch noch invasive Pflanzen, die sich anfangen in Deutschland breit zu machen, da inzwischen Temperaturen erreicht werden, die für sie zum wachsen ausreichen. Zu diesen Pflanzen gehört zum Beispiel die Ambrosia (*Ambrosia artemisiifolia*/Beifußblättriges Traubenkraut), die ursprünglich aus Nordamerika stammt, welche ein hohes Allergenpotential besitzt und sich seit den 1980er in Teilen Südeuropas breit macht (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 141). Ein weiterer Nachteil für Allergiker ist bei jener Pflanze, dass sie sich wahrscheinlich in Städten, welche als „Wärmeinseln“ (BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 141) fungieren könnten, einnisten werden und sie von Spätsommer und Herbst blüht, wodurch fast das ganze Jahr mit verschiedenen Pollensaison abgedeckt wird. Ebenfalls zum Nachteil der Menschen ist, dass sich die Pollenproduktion bei einem höheren CO<sub>2</sub>-Wert verstärkt wird. So entstehen daraus unter anderem allergenhaltige Aerosole die durch ihre Größe tiefer in die Lunge eindringen

können und so Asthma bei den sensibilisierten Menschen auslösen können (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 141).

Durch die milderen Winter, die sich inzwischen anbahnen und die Abnahme vom Frost, wirkt sich die Klimaveränderung positiv für Kleinere Lebewesen aus, die Menschen eher als Plagegeister bezeichnen würden und welche auch Krankheiten übertragen können. Die Rede ist von Zecken und Mücken. Die niedrigeren Temperaturen sorgen dafür, dass mehr Tiere durch den Winter kommen (vgl. REITER 2001, S. 142). Neben der höheren Überlebenschance stehen hier auch noch eine längere aktive Phase an, wie auch bei der Pflanzen die Pollensaison, da es auch noch länger und früher für sie warm genug ist, um aktiv zu werden oder aktiv zu bleiben. Exemplarisch wird auf die Mücke verstärkt eingegangen, da Mücken und „mosquito-born disease in particular- is a prominent topic in this debate“ (REITER 2001, S. 142).

Bei den meisten Mückenarten ist es das Weibchen das Blut saugt, da es die Proteine für die Herstellung der Eier braucht, hierbei gibt es Arten die nicht sehr wählerisch sind von der Quelle ihrer Nahrung und andere die sich auf bestimmte Arten spezialisiert haben.

Während das Weibchen das Blut saugt, wird ein speichelartiges Sekret ins Blut abgegeben. Dieser Speichel enthält die teilweise für Menschen und Tiere krankheitsbringenden Erreger, wobei nicht alle bei den Menschen oder den Tieren Krankheiten auslösen (vgl. REITER 2001, S. 142). Ein wichtiger Schlüssel für die Krankheiten, die von Mücken gebracht werden ist, dass es in den Tropen, wo sie häufiger vorkommen, keinen Winter haben. Dies liegt daran, dass die „mosquito-born pathogens“ (REITER 2001, S. 142) in der für sie passenden Jahreszeit da sein müssen, damit sie von Vektoren übertragen werden können. Als Vektoren werden die Krankheitsüberträger bezeichnet. In den Winter von Deutschland sind jedoch die Vektoren bisher jedoch meistens eliminiert (vgl. REITER 2001, S. 142). Unter anderem die folgenden Erkrankungen sind als von Stechmücken übertragbar bekannt: das Virus-bedingte Dengue-, Chikungunya- oder der West-Nil-Virus, oder Infektionen mit Parasiten wie zum Beispiel Malaria, welches bis 1900 auch in Deutschland vertreten war (vgl. BRASSEUR 2014, S.15). Von Zecken werden bisher in Deutschland nur Lyme-Borreliose und FSME (Frühsommer-Meningoenzephalitis) übertragen.

Das Dengue-Fieber ist jedoch vereinzelt schon in den letzten Jahren in südeuropäischen Regionen aufgetreten, was daran liegt, dass die entsprechende Mückenart sich in vielen Teilen Südeuropas etabliert haben. Allerdings sind bisher noch keine Fälle in Deutschland bekannt

aber gegebenenfalls könnten bis 2050 vereinzelt Fälle auch in Deutschland auftreten (vgl. Brasseur/Jacob/Schuck-Zöller 2017, S. 143).

Auch in der Ostsee wirkt sich die Erwärmung aus und birgt ein gewisses gesundheitliches Risiko für die Menschen mit sich durch die daraus folgende Veränderung beziehungsweise Verstärkung: Die Wachstumsrate der Blaualgen nimmt in der Ostsee auf Grund der Wärme zu und auch ihre Wachstumsphase verschiebt sich.

Die Blaualge hat zwar keine Pollen mit denen sie den Menschen das Atmen erschweren kann, aber bei Kontakt beim Schwimmen im Wasser oder einem Strandspaziergang kann sie Irritationen auf der Haut auslösen. Allerdings können sich auch die Algen außerhalb der Schwimmbeschäftigung als gefährlich erweisen, denn es ist möglich, dass sich die Algen in den Muscheln festsetzen, die zum Verzehr gedacht sind. Durch den Verzehr der Muscheln gelangen sie in den Körper und greifen das Nervensystem an und kann in extremen Fällen auch zum Atemstillstand führen. Bisher gibt es die Regel, dass die Muscheln von September bis März verzehrt werden können. Durch die Erwärmung und somit Verschiebung kann diese Regel aber nun hinfällig sein (vgl. BRASSEUR 2014, S. 19).

Zusammengefasst wirkt sich die Erwärmung vor allem indirekt auf die Menschen aus, da negative Eigenschaften des Frühjahrs, wie zum Beispiel die Pollensaison oder andere Wachstumsfälle von Pflanzen, die schon früher einsetzen, da die notwendige Wärme vorhanden ist und auch die Winter, die nicht mehr die Härte besitzen, um zur Minimierung von den Krankheitsüberträger beizutragen

### **3.2. Meteorologische Auswirkungen**

In Europa und Nordamerika haben sich die Stark-/Extremwetterereignisse zum Teil entweder gehäuft oder ihre Intensität hat sich verstärkt (vgl. BRASSEUR 2014, S. 6) Die Folgen dieser Starkwetterereignisse können sich auf die Gesundheit der Menschen auswirken beziehungsweise die Menschen auch töten. Auch entsteht hierbei ein Sachschaden, der sich wiederum auf die Gesundheit auswirken kann.

Auch im Bereich der Starkregenereignisse ist mit einer Häufung in der Zukunft kombiniert mit einem verstärkten Auftreten von Überschwemmungen zu rechnen. Durch diese Ereignisse können wie in 2016 im Mai/Juni in Simbach und Braunsbach mehrere Menschen sterben (vgl.

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR 2017, S. 14). Aber auch bei den Sachschäden kann die Gesundheit angegriffen werden, neben den Verletzungen, die entstehen können. Ein Beispiel wäre hier die zusätzliche Nässe im Mauerwerk, die nach einer Überschwemmung zurückbleibt wodurch verstärkt Schimmelpilze auftreten welche sich unter anderen in die Lungen einnisten können. Besonders anfällig für darausfolgende Erkrankungen von den Schimmelpilzen sind Asthmatiker, Allergiker und Menschen mit einem nicht gänzlich intakten Immunsystem sein (vgl. BRASSEUR 2014, S. 14). Auch ist die Gefahr an Darmerkrankungen zu leiden ist durch Überschwemmungen erhöht (vgl. BRASSEUR 2014, S. 13). Ebenfalls kann die Verunreinigung von Trinkwasser auftreten, was bisher noch nicht in Deutschland geschehen ist. Dies kann unter anderen geschehen indem „technische und chemische Anlagen, Tanks und Rohstofflager [geflutet werden]. Dann können Chemikalien, Baustoffe, Futtermittel, Treibstoffe, Abfälle, Brennstoffe oder anderes in die hochwasserführenden Flüsse strömen und das Trinkwasser belasten oder sogar verseuchen.“ (BRASSEUR 2014, S.13; BRASSEUR 2014, S. 13).

Ein anderes Starkwetterereignissen, welches sich häufen wird, sind Hitzewellen, welche sich durch ihre hohen Temperaturen auf die Gesundheit auswirken. Besonders anfällig sind Säuglinge, Kleinkinder, ältere und kranke Menschen, vor allem welche, die eine Herz-Kreislauf-Erkrankung oder eine Nierenerkrankung haben. Bei großer Hitze sind besonders diese Menschen gefährdet, da deren Thermoregulationssysteme der Körper, die ihn im Innern ca. konstant bei 37 °C warm oder kühl halten, nur eingeschränkt funktionstüchtig sind. Die Folge ist eine Überanspruchung des Regulationssystems beziehungsweise die Systeme schaffen es nicht den Ausgleich im ausreichendem Maße herbeizuführen, wodurch der Körper/ der Herz-Kreislauf überfordert ist.

Während der Hitzewellen litten mehr Menschen unter Herz-Kreislauserkrankungen und es sterben auch vermehrt Menschen (vgl. BRASSEUR 2014, S. 10). Besonders deutlich ist es in der Hitzewelle von 2003 zu sehen, wo ein deutlicher Anstieg von Todesfällen verzeichnet wurde. In zwölf europäischen Ländern starben „schätzungsweise 50.000 bis 70.000 Menschen zusätzlich“ (Brasseur/Jacob/Schuck-Zöller 2017, S. 138). Auch in Deutschland konnte eine erhöhte Sterberate festgestellt werden. Ein anderes Beispiel, diesmal konkret aus Deutschland ist eine Hitzewelle aus 1994 in der im ländlich geprägten Brandenburg 10-50% und in Bereichen von Berlin sogar 50-70% mehr Menschen starben im Vergleich zu der Jahreszeit sonst (vgl. Brasseur/Jacob/Schuck-Zöller 2017, S.138). Allerdings können durch schnelle und

häufige Temperaturwechsel die Thermoregulationssysteme des Körpers ebenfalls überfordert werden. Ob durch die milderen Winter hingegen auch weniger Menschen sterben ist jedoch unklar (vgl. BRASSEUR 2014, S. 14).

Die Besondere Situation und emotionale Belastung von Starkwetterereignissen können sich auch auf die Psyche der Betroffenen Bewohner der Region auswirken und sich traumatisierend auf jene auswirken, womit die psychische Gesundheit auch unter dem Wandel zu leiden hat (vgl. BRASSEUR 2014, S. 13).

### **3.3. Weitere Faktoren der Gesundheitsbeeinträchtigung**

#### **3.3.1. Klimawandel zugunsten invasiver Erreger**

Durch den Klimawandel und Global Change beziehungsweise die Globalisierung und die Möglichkeit die Erde zu bereisen, können auch Krankheitserreger von anderen Orten in Deutschland eingeschleppt werden. Damit sich die Krankheit aber auch in Deutschland ausbreiten kann, müssen bestimmte Bedingungen erfüllt werden.

Zum einem müssen die Krankheitserreger in Deutschland vorkommen genauso wie der passende Vektor. Auch muss die entsprechende Wärme gegeben sein, damit Erregungsentwicklung im Vektor zustande kommen kann. Durch die Erwärmung in Deutschland werden diese Faktoren in Deutschland begünstigt. Im folgenden wird auf zwei Beispiele von möglichen Einschleppungen eingegangen (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 143).

„Die Leishmaniose (Erreger: *Leishmania infantum*) ist eine in mediterranen Ländern etablierte Erkrankung, die Geschwüre der Haut und Organschäden hervorruft.“ (BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 143). Hunde, die vom Ausland kommen, sind in Deutschland bisher hauptsächlich betroffen. Die Krankheit kann jedoch mit Hilfe von Medikamenten in den Griff bekommen werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Krankheit aber ausbreitet ist eher gering, auch wenn die Leishmaniose von Hunden auf Menschen übertragen werden können. Bisher ist die Ausbreitung eher unwahrscheinlich da hier aktuell noch die Temperaturen für den Hauptvektor, die Sandfliege (*Phlebotomus*) noch zu ungünstig ist (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 143).

Durch die Einreise von infizierten Personen und die steigende Durchschnittstemperatur begünstigen die Ausbreitung/Ansteckung. Dies setzt aber ebenfalls voraus, wie schon genannt dass der Erreger mit den klimatischen Bedingungen in Deutschland zurecht kommt um sich auszubreiten (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 143).

Mit einer Ausbreitung von Malaria ist, trotz der sich von der Temperatur her günstiger entwickelnden Umwelt in Deutschland eher unwahrscheinlich, da Malaria bis 1900 auch in Deutschland verbreitet war und durch „Trockenlegung der Brutgebieten, Mückenbekämpfung und verbesserte Gesundheitsvorsorge“(BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 143) ausgerottet wurde. Wenn diese Vorkehrungen also weiter geführt werden, sollte sich Malaria nicht wieder in Deutschland ausbreiten können(vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 143).

Insgesamt muss aber auch zur Bekämpfung von Krankheiten über die Grenzen von Deutschland hinausgeblickt werden, da Krankheitserreger unter anderem mitgebracht werden können und sich die Bedingungen für manche Erreger dennoch langsam in Deutschland zu ihren Gunsten entwickeln.

### **3.3.2. Auswirkungen der begünstigten Luftverschmutzung**

Ein anderer Bereich der die Gesundheit schädigt ist die Luftverschmutzung. Dazu gehört auch der Feinstaub und das bodennahe Ozon, welches unter anderem Reizungen der Schleimhäute und entzündliche Reaktionen der Atemwege, wie auch Kopfschmerzen hervorrufen kann. Das bodennahe Ozon entsteht bei einer Trocken-heißen Witterung unter einer hohen Sonneneinstrahlung (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 145). Der Feinstaub entsteht durch anthropogene Ursachen wie der Automobilverkehr, aber auch Waldbrände können zum Beispiel dazu beitragen(vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 145). Mit diesen Problemen wird vor allem an trockenen heißen Tagen und unter anderem konzentrierter in den Ballungsräumen von Städten zu rechnen sein(vgl. BRASSEUR 2014, S. 14). Eine höhere Luftschadstoffwirkung kombiniert mit höheren Temperaturen wirkt sich auch auf den Herz-Kreislauf-Erkrankungen aus und kann Herzinfarkte begünstigen als auch Erkrankungen der Atemwege wie zum Beispiel Asthma und Lungenentzündungen (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 145).



Auch wird mit einer Zunahme der UV - Strahlung gerechnet, wobei das Messen von der UV-Strahlung auf Grund von der sich bewegenden Bewölkung sich als schwierig/ungenau darstellen lässt. Folgen von der Zunahme von der UV-Strahlung können Hautkrebs sein, denn die UV-Strahlung wird als Hauptrisikofaktor betrachtet. Eine mögliche Zunahme von dem Krankheitsbild des Grauen Stars (Katarakt), wie auch Sonnenbrände und Bindehautentzündungen sind auch Folgen, die auftreten können.(vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S.141)

Die Steigerung von UV-Strahlen wäre jedoch nicht nur negativ. In der richtigen Dosierung soll die Bildung von Vitamin-D angeregt werden was sich positiv für den Menschen auswirken kann. Vitamin D soll die Wahrscheinlichkeit senken an Osteoporose zu erkranken oder einen Herzinfarkt zu bekommen. Ganz geklärt ist jedoch nicht der Einfluss des Klimawandels auf den Ozonhaushalt, der sich auf die UV-Strahlen auswirkt. Insgesamt sind diese Ergebnisse aber noch unsicher, da das Gesundheitssystem ein komplexes System ist (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S.141).

Nachdem nun erläutert wurde, welche klimatischen Veränderungen es in den letzten Jahrzehnten gegeben hat und wie diese sich wohl in der Zukunft entwickeln werden, werden im nächsten Kapitel auf Grundlage der Auswirkungen des Klimawandels für die Gesellschaft, die empfohlenen Anpassungsstrategien der Bundesregierung für Industrie und Gewerbe sowie Energie- und Finanzwirtschaft thematisiert.

## 4. Maßnahmen der Bundesregierung

*„Extreme Wetterereignisse stellen unsere Gesellschaft schon heute immer wieder vor Herausforderungen: Hitzewellen [...] bringen enorme gesundheitliche Belastungen mit sich und können viele Todesopfer fordern, Starkniederschläge und Winterstürme verursachen immer wieder immense Schäden an Infrastruktur und Gebäuden und bringen Menschen in Gefahr. Es ist zu erwarten, dass Extremwetterereignisse und deren Folgen künftig eine noch größere Bedeutung für Mensch und Umwelt haben werden. Daher stellt sich die Frage, wie sich die Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen verändern wird und wie wir uns darauf vorbereiten können.“ (BBK 2012, o. S.).*

So lautet die gemeinsame Einschätzung einer Behördenübergreifenden Kooperation aus Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK), dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), dem Deutschen Wetterdienst (DWD), der Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW) und des Umweltbundesamt (UBA), in einer gemeinsam veröffentlichten Pressemitteilung vom 30.10.2012 zur Vorstellung der Ergebnisse des Abschlussberichtes, *„Auswertung regionaler Klimaprojektionen für Deutschland hinsichtlich der Änderung des Extremverhaltens von Temperatur, Niederschlag und Windgeschwindigkeit“*, eines in Kooperation entstandenen Klimaforschungsprojektes (vgl. BBK 2012, o. S.).

Die Tatsache, dass sich diese fünf Bundesbehörden zusammengetan haben, um sich über die Veränderungen des Klimawandels und den daraus resultierenden Folgen für Mensch und Umwelt auszutauschen zeigt, wie ernst dieses Thema auf nationaler Ebene genommen wird. Der Vizepräsident des DWD Dr. Paul Becker ist der Überzeugung, dass die steigenden Durchschnittstemperaturen intensivere Wetterextreme verursachen und sich infolge dessen verheerende Wetterextreme häufen werden. Seiner Meinung nach sind durch diese Extremwetterereignisse auch Steigerungen des Schadenspotenzials anzunehmen, deshalb muss sich Deutschland rechtzeitig und vor allem richtig vorbereiten (vgl. BBK 2012, o. S.).

Das Ziel ist folglich Anpassungsstrategien zu entwickeln, um die Gesellschaft so gut wie möglich auf die Zunahme von Extremwetterereignissen vorzubereiten und Deutschlands Vulnerabilität gegenüber diesen zu minimieren. Letztgenanntes beschreibt Adaptionsmaßnahmen, dabei handelt es sich um Anpassungen bezüglich der Klimawandelfolgen. Zusätzlich wird unterschieden in Mitigationsmaßnahmen, die

Klimaschutzziele festlegen und dazu beitragen sollen den Ausstoß von Treibhausgasen zu reduzieren und somit die Erderwärmung so gering wie möglich zu halten. Die Intention dahinter ist folglich den Umfang der Klimaänderungen zu begrenzen und gleichzeitig abzumildern. Wie sich in Kapitel 1.4 dieser Hausarbeit jedoch gezeigt hat, steigt die globale Treibhausgasemission weiter an und ein Rückgang ist derzeit nicht festzustellen. Zudem sind die Klimawandeländerungen bereits zu beobachten und eine nachträgliche Reduzierung der bisher ausgestoßenen Treibhausgase ist nach bisherigem Kenntnisstand nicht möglich. Folglich sind Adaptionsmaßnahmen notwendig um sich auf die zu erwartenden und nicht mehr zu verhindernden Konsequenzen vorzubereiten und einzustellen. Mitigationsmaßnahmen hingegen sind erforderlich um das Ausmaß der Erderwärmung so gering wie möglich zu halten, jedoch sind Adaptionsmaßnahmen unumgänglich, um die Gesellschaft auf die durch den Klimawandel resultierenden Veränderungen vorzubereiten. Adaption und Mitigation mögen sich auf den ersten Blick zwar wesentlich voneinander unterscheiden, jedoch lässt sich festhalten, dass beide Strategien dem Ziel verbunden sind zu versuchen, das Schadenspotenzial des Klimawandels so gering wie möglich zu halten und somit beidermaßen von Bedeutung sind (vgl. BBK 2016, S. 21). Da bei der Umsetzung von Klimaschutzziele jedoch die globale Ebene von Bedeutung ist und zu viele unterschiedliche Akteure mit eigenen Präferenzen für den Erfolg dieser Maßnahmen notwendig sind und das Thema der Hausarbeit auf Deutschland beziehungsweise den nationalen Anpassungsstrategien bezogen ist, wird im Folgenden der Fokus auf den Anpassungsstrategien auf nationaler Ebene liegen.

#### **4.1. Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel**

2008 hat die Bundesregierung mit der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS), einen politischen Rahmen geschaffen um sich auf die schon eingetroffenen oder noch bevorstehenden Klimawandelfolgen einstellen zu können. Dort werden Einschätzungen zu heute schon messbaren oder zu bevorstehenden Klimaveränderungen gegeben. Gleichzeitig werden Maßnahmen genannt, die erforderlich sind, um frühzeitig und vorausschauend Anpassungsstrategien entwickeln zu können. Zudem werden 15. Handlungsfelder vorgestellt (unter anderem menschliche Gesundheit, Küsten-Meeresschutz, Energiewirtschaft, Industrie und Gewerbe, etc.) und die damit verbundenen Handlungsoptionen dargestellt. Die DAS stellt

damit die Grundlage für Politik und Gesellschaft dar, um Deutschlands Vulnerabilität gegenüber Umweltveränderungen und den dadurch verbunden Konsequenzen zu minimieren. Der Fokus liegt hierbei auf ökonomischen, gesellschaftlichen und natürlichen Systemen. Zusätzlich bildet sie somit den ersten Grundstein, um der Verantwortung aus Artikel 4 der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) gerecht zu werden (vgl. BMUB 2008, S. 4ff.; UBA 2013, o. S.). Dabei handelt es sich um ein Übereinkommen, dass 1992 in New York ratifiziert wurde, indem sich unter anderem Deutschland dazu verpflichtet hat Klimaschutz-Maßnahmen und Anpassungsstrategien an den Klimawandel festzulegen und umzusetzen. (vgl. VEREINTE NATIONEN 1992, S. 24f.). So heißt es beispielsweise in Artikel 4 unter Abschnitt (1) *„Alle Vertragsparteien werden unter Berücksichtigung ihrer gemeinsamen, aber unterschiedlichen Verantwortlichkeiten und ihrer speziellen nationalen und regionalen Entwicklungsprioritäten, Ziele und Gegebenheiten b) nationale und gegebenenfalls regionale Programme erarbeiten, umsetzen, veröffentlichen und regelmäßig aktualisieren, in denen Maßnahmen zur Abschwächung der Klimaänderungen durch die Bekämpfung anthropogener Emissionen aller nicht durch das Montrealer Protokoll geregelten Treibhausgase aus Quellen und den Abbau solcher Gase durch Senken sowie Maßnahmen zur Erleichterung einer angemessenen Anpassung an die Klimaänderungen vorgesehen sind; und f) in ihre einschlägigen Politiken und Maßnahmen in den Bereichen soziales, Wirtschaft und Umwelt soweit wie möglich Überlegungen zu Klimaänderungen einbeziehen und geeignete Methoden, beispielsweise auf nationaler Ebene erarbeitete und festgelegte Verträglichkeitsprüfungen anwenden, um die nachteiligen Auswirkungen der Vorhaben oder Maßnahmen, die sie zur Abschwächung der Klimaänderungen oder zur Anpassung daran durchführen, auf Wirtschaft, Volksgesundheit und Umweltqualität so gering wie möglich zu halten“* (VEREINTE NATIONEN 1992, S. 6ff.) Inwiefern die DAS Artikel 4 tatsächlich erfüllt muss sich erst herausstellen, was jedoch schon mal festzustellen ist das mit der DAS ein Instrument geschaffen wurde, welches in die richtige Richtung führt.

Die Ziele der DAS sind die durch Klimaveränderungen verursachten und zu erwartenden Folgen für die einzelnen Regionen Deutschlands, zu erfassen und zu verdeutlichen. Des Weiteren müssen Gefahren und Risiken erfasst und kommuniziert werden, dass bedeutet *„Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadenpotenziale sowie Unsicherheiten von Klimafolgen und deren zeitliche Komponente – so weit möglich – zu quantifizieren und transparent zu machen“*, um dadurch ein *„Bewusstsein zu schaffen und Akteure zu sensibilisieren“*. Folglich

so die „Entscheidungsgrundlagen bereit zu stellen, die es den verschiedenen Akteuren ermöglichen Vorsorge zu treffen und die Auswirkungen des Klimawandels schrittweise in privates, unternehmerisches und behördliches Planen und Handeln einzubeziehen, Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen, Verantwortlichkeiten abzustimmen bzw. festzulegen; Maßnahmen zu formulieren und umzusetzen.“ (BMUB 2008, S. 5). In diesem Zusammenhang zeigt die DAS für verschiedene gesellschaftliche Bereiche Folgen auf, die sich aus den klimatischen Veränderungen ergeben und gibt gleichzeitig auch Lösungsansätze. Im Folgenden wir auf drei dieser Bereiche genauer eingegangen.

#### **4.1.1. Folgen Energiewirtschaft**

Die mit dem Klimawandel zusammenhängenden Veränderungen und deren Auswirkungen werden auch für die Energieversorgung in Deutschland von Bedeutung sein. Auf der einen Seite werden die steigenden Temperaturen vermutlich den Bedarf an Heizenergie verringern, auf der anderen Seite wird dadurch aber auch gerade in den Sommermonaten die Nachfrage nach Energie aufgrund des Einsatzes von beispielsweise Klimaanlage oder Klimatisierungsvorrichtungen für Serverräumen und Rechenzentren steigen. Inwieweit sich die sinkende Nachfrage nach Energie zum Heizen und die Zunahme der Energie zum kühlen verhältnismäßig gegenübersteht, muss sich erst noch herausstellen. Der steigende Energieverbrauch mag zwar auf den ersten Blick vorteilhaft für Versorgungsunternehmen sein, die somit von einer erhöhten Nachfrage profitieren. Aber der steigende Energieverbrauch sorgt auch für eine Zunahme der Treibhausgasemissionen, sofern die Energie nicht aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen wird. Festzuhalten ist jedoch, dass auch Versorgungsunternehmen negativ von Extremwetterereignissen, wie beispielsweise Stürmen, Hoch- beziehungsweise Niedrigwasser und Dürren, betroffen sind. So kann es zu einer Beeinträchtigung im Betrieb von Einrichtungen und Anlagen zur Energieerzeugung kommen wie beispielsweise Kraftwerken. Die Folgen können Einbrüche in der Energieversorgung sein, des Weiteren kann zu Angebotsverknappungen aufgrund von ausfallender Kraftwerke kommen, aber auch Energiepreissteigerungen können die Folgen sein. Gerade für thermische Kraftwerke, wie Kernkraft-, Erdgas- und Kohlekraftwerken ist Verfügbarkeit von Kühlwasser von Bedeutung. Niedrigwasser und höhere Wassertemperaturen in den Sommermonaten können den Betrieb solcher Anlagen beeinträchtigen. Auch Kraftwerke, bei denen Grundwasser zur Kühlung verwendet wird, können aufgrund von sinkenden

Grundwasserspiegeln während Trockenperioden betroffen sein. Die Kraftwerksbetreiber werden daher zukünftig wahrscheinlich häufiger gezwungen sein die Leistung ihrer mit Wasser gekühlten Anlagen zu reduzieren, um Wasserschutzrichtlinien und Sicherheitsmaßnahmen einhalten zu können. Die Vergangenheit zeigte, dass die Behörden in diesem Zusammenhang auch Ausnahmegenehmigungen erteilen. So wurde im Sommer 2003, der besonders heiß und trocken ausfiel, einigen Kraftwerken die Erlaubnis erteilt die Temperatur des eingeleiteten Wassers von 28 °C auf 30 °C zu erhöhen. Solche Ausnahmegenehmigungen sollten jedoch auch kritisch gesehen werden, da durch solche Einleitungen Flussökosysteme zu den ohnehin schon erhöhten Wassertemperaturen innerhalb einer Hitzeperiode zusätzlich belastet werden (vgl. BMUB 2008, S. 33ff.).

Ebenso kann es auch zu Versorgungsengpässen, bei der Versorgung der Kraftwerke mit Rohstoffen kommen, bei denen dies über den Schiffsverkehr erfolgt. Bei länger anhaltenden Niedrig- beziehungsweise Hochwasser sind somit beispielsweise die kontinuierliche. Zusätzlich ist anzunehmen, dass durch die immer häufiger und stärker auftretenden Extremwetterereignisse wie beispielsweise Stürme oder Unwettern Schäden an Stromnetzen verursachen können und somit die Elektrizitätsübertragung und -verteilung beeinträchtigen (vgl. BMUB 2008, S. 33ff.).

#### **4.1.2. Folgen Finanzwirtschaft**

Die Finanzwirtschaft ist sowohl auf globaler als auch auf regionaler Ebene tätig. Aufgrund der durch die Globalisierung hervorgerufenen internationalen Vernetzung der Märkte sind Klimaänderungen und deren Folgen auf globaler Ebene von Bedeutung. Jedoch müssen sich gerade Versicherungsunternehmen auch auf nationaler Ebene auf die Zunahme von volkswirtschaftlichen Schäden einstellen, die durch die wahrscheinlich häufiger und intensiver auftretenden Extremwetterereignisse verursacht werden. Auch sind Unternehmen besonders von Klimaänderungen betroffen, die Investitionen über längere Planungszeiträume festlegen, wie etwa für größere Infrastrukturprojekte oder für den Bau von Kraftwerken. Banken und Versicherungen müssen daher ein aktives Management für Risiken entwickeln. Neben den Risiken, die durch die zunehmenden Extremwetterereignisse verursacht werden, sind aber auch Risiken zu berücksichtigen, die durch daraus resultierenden politischen Regularien und veränderten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen entstehen. Daher müssen

auch die staatlichen Aufsichtsbehörden von Bund und Ländern die vorhandenen Risikomodelle darauf überprüfen, ob die finanzielle Stabilität von Versicherungen und Banken noch gegeben ist (vgl. BMUB 2008, S. 35f.).

Anzunehmen ist, dass zukünftig die Nachfrage nach Versicherungen, die durch Extremwetterereignisse verursachte Schäden abdecken steigen wird. Jedoch wird es für Versicherungsunternehmen problematisch, auf der Grundlage bereits verwendeter Geschäftsmodelle und Praktiken, Risiken in besonders stark gefährdeten Gebieten und Regionen überhaupt zu versichern (vgl. BMUB 2008, S. 35f.).

#### **4.1.3. Folgen Industrie und Gewerbe**

Der vermutliche Anstieg an Extremwetterereignissen wie Dürren, Starkniederschläge, Tornados, Unwettern, Sturmfluten oder Hochwasser stellen auch für Industrie- und Gewerbeanlagen eine Gefährdung dar. Neben den Auswirkungen auf den Betrieb der Anlagen können auch Betriebseinschränkungen, verursacht durch Unterbrechungen der Versorgungswege, eine Rolle spielen. Das Fehlen von für einzelne Produktionsschritte benötigten Materialien, kann den Fertigungsprozess von Waren beeinträchtigen und so zu Betriebseinschränkungen führen. Des Weiteren können Extremwetterereignisse negative Effekte auch bei Betrieben und Anlagen zur Folge haben, die mit gefährlichen Substanzen arbeiten. Diese stellen sowohl für die Beschäftigten als auch für die Umwelt ein Risiko dar (vgl. BMUB 2008, S. 39f.).

#### **4.1.4. Anpassungsstrategien Gewerbe**

Schon heute gelten für Industrieanlagen bei denen gefährliche Stoffe zum Einsatz kommen oder in größeren Mengen gelagert werden hohe Sicherheitsanforderungen bezüglich Gefahren, die von Extremwetterereignissen ausgehen wie beispielsweise Überschwemmungen. Jedoch wird es für Betriebe erforderlich sein das vorhandene Risikomanagement sowohl heute als auch zukünftig mit Blick auf die zu erwartenden Extremwetterereignisse zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen. Diese Anpassung muss daher unter Berücksichtigung der, aufgrund der durch den Klimawandel hervorgerufenen Auswirkungen, geänderten Eintrittswahrscheinlichkeiten von Extremwetterereignissen und

damit einhergehenden potenziellen Schäden erfolgen. Diesbezüglich hat die Bundesregierung ein eigenes Organ geschaffen die Kommission für Anlagensicherheit (KAS). Sie soll Handlungsmöglichkeiten aufzeigen, die zur Verbesserung der Anlagensicherheit beitragen aber gleichzeitig auch Regeln aufzeigen die dafür sorgen, dass diese auch umgesetzt werden. Dabei sollen diese Regeln analog zu dem aktuellen Stand der Sicherheitstechnik aufgestellt, aber auch schon vorhandene Maßnahmen berücksichtigen werden. Für die Gefahren, die von Stürmen, extremen Niederschlägen und Überschwemmungen ausgehen gibt der KAS-Arbeitskreis „Umgebungsbedingte Gefahrenquellen“ Empfehlungen, bezüglich Regeln die sicherheitstechnische Maßnahmen festlegen und begleitet dabei auch Forschungsvorhaben die sich mit dieser Problematik auseinandersetzen. Mit Blick auf die Anlagensicherheit schlägt der Arbeitskreis folgende Anpassungsmöglichkeiten vor: Störfallanlagen, bei denen mit gefährlichen Substanzen gearbeitet wird und diese bei Unfällen (sogenannte Störfälle) freigesetzt werden können, müssen in ihrer baulichen Beschaffenheit unter anderem durch die Statik an die immer stärker und intensiver auftretenden Stürme angepasst werden. (vgl. BMUB 2008, S. 39ff.; MUEEF o.J., o.S.). Zusätzlich ist es erforderlich, dass Betriebe Ihre Anlagen durch eigene baulich und technische Maßnahmen gegen Extremniederschläge und Hochwasser schützen. Des Weiteren ist eine Alarm- und Gefahrenabwehrplanung sowie Sicherheitsmanagements-Maßnahmen notwendig. Daher sind sowohl rechtliche als auch technische Vorschriften festzulegen. Die Kommunikation zwischen den Behörden und der Industrie ist daher erforderlich um den Anpassungsprozess zu gewährleisten und die Notwendigkeit von eigenverantwortlichem Handeln seitens der Industrie aufzuzeigen (vgl. BMUB 2008, S. 35f.).

#### **4.1.5. Anpassungsstrategien Energiewirtschaft**

Potenzielle Risiken für die Versorgung müssen erfasst und bewertet werden, um anschließend Anpassungsstrategien zu entwickeln und so die Anfälligkeit der Versorgungsinfrastruktur gegenüber Extremwetterereignissen zu minimieren. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) hat daher die Arbeitsgruppe „Krisenvorsorge in der Stromwirtschaft“ aufgestellt in der Länder und Bund zusammen mit Akteuren aus dem Energiesektor diverse Krisenszenarien durchgehen. Unter Berücksichtigung des Energiewirtschaftsgesetzes und des Energiesicherungsgesetzes werden somit mögliche Anpassungsmaßnahmen erarbeitet. Die Bundesregierung vertreten durch Bund und Länder



können dabei nur Hilfestellung leisten, Erfahrungen austauschen und gesetzliche Rahmenbedingungen schaffen, konkrete Anpassungsmaßnahmen gegenüber Klimawandelfolgen im Bereich der Energiewirtschaft sind von der dieser zum größten Teil selbst zu erbringen. Positiv anzumerken bleibt jedoch, dass die Versorgungsunternehmen schon heute eigenverantwortlich Vorsorgemaßnahmen gegenüber Extremwetterereignisse treffen. Der Anteil von Kabelleitungen ist verglichen zu anderen europäischen Staaten verhältnismäßig groß, der Vorteil dieser Kabelstrecken ist das sie gut gegen Starkwinde geschützt sind. Zudem sind in den Kraftwerken Notwasseranschlüsse vorhanden, falls aufgrund von Trockenheit im Sommer die Kühlung mit Flusswasser nicht mehr möglich sein sollte. Zusätzliche Verstärkungen der Abwassernetze tragen zu einer verbesserten Abführung von Regenwasser bei, die somit zum Schutz vor Starkregen beitragen. Zusätzlich kommt es zur Bildung von Krisenstäben, um auf Schäden und Ausfälle im Falle von Extremwetterereignisse schnell reagieren zu können (vgl. BMUB 2008, S. 33ff.).

## **4.2. Bevölkerungsschutz**

Nicht nur wenn es um den Schutz der Strominfrastruktur geht, ist die Koordination zwischen unterschiedlichen Akteuren von Bedeutung. Extremwetterereignisse stellen auch für den Bevölkerungsschutz eine Herausforderung dar, die es zu bewältigen gilt. Mit Blick auf die klimatischen Veränderungen im Zuge des Klimawandels stellt sich die Frage, welche Maßnahmen in Zukunft ergriffen werden müssen um den veränderten Bedingungen gewappnet gegenüber treten zu können. Daher ist das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) an einer praxisorientierten Herangehensweise interessiert und hat in diesem Zusammenhang die Arbeitsgruppe Klimawandel und Anpassung im Katastrophenschutz aufgestellt. In dieser setzen sich Vertreter der Bundesebene sowie des BBKs und des THWs, verschiedenen Hilfsorganisationen wie JUH, DLGR, ASB, DRK und MHD und der Feuerwehren in regelmäßigen Abständen zusammen. Damit sinnvolle Maßnahmen ergriffen werden können, ist es wichtig ein Monitoring über die bereits erfolgten und anstehenden Einsätze zu entwerfen und systematisch Arbeitsabläufe zu erfassen. Bezogen auf die Aufgaben der Einsatzkräfte könnte das Monitoring dazu beitragen der Frage nachzugehen, ob es über einen längeren Zeitraum betrachtet Anpassungsbedarf gibt und um die Effektivität der vollzogenen Maßnahmen zu überprüfen. Da von den Einsatzkräften

ohnehin Einsatzstatistiken erstellt und Informationen zu den Einsätzen gesammelt werden, ist die Grundlage für das Monitoring bereits vorhanden. Somit handelt es sich hierbei um keine neue Aufgabe, sondern um eine neue Form der Nutzung von diesen Informationen. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass eine gemeinsame Form der Einsatzdokumentation erfolgen muss, um dem entsprechenden Ereignis die konkrete Kontextinformation zuzuordnen. Das Problem entsteht daher, da ein Ereignis beispielsweise Starkregen mehrere Arten von Einsätzen auslösen kann. Da die Einsätze als „Technische Hilfeleistung“ oder „Rettungseinsatz“ klassifiziert werden können, muss auch dokumentiert werden welches Extremwetterereignis den Einsatz ausgelöst hat, damit am Ende nicht nur die Art des Einsatzes, sondern auch die entsprechende Ursache festgehalten wird (vgl. BBK 2016, S. 35ff.).

Ziel des Bevölkerungsschutzes darf es aber nicht nur sein selbst so gut wie möglich auf Extremwetterereignisse vorbereitet zu sein, sondern vielmehr zu schauen, ob auch die Betroffenen beim Eintritt dieser bestmöglich vorbereitet sind. Daher ist ein effektives Warnsystem notwendig, welches sowohl alle Betroffenen erreichen als auch von allen verstanden werden muss. Dabei ist nicht nur die Umsetzung technischer Voraussetzungen relevant, sondern es muss in Kombination mit gezielten und passenden Informationen zu den Warnungen am Ende entsprechend reagiert werden können (vgl. BBK 2016, S. 35ff.).

Neben den Folgen die aus der Zunahme und den stärker ausfallenden Extremwetterereignisse resultieren, müssen auch Anpassungsmaßnahmen gegen die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit vorgenommen werden.

### **4.3. Schutzmaßnahmen Gesundheit**

Um die Gesundheit der Menschen vor dem Klimawandel zu schützen beziehungsweise um die Gesundheit zu unterstützen, können verschiedene Punkte aufgegriffen werden. Im Folgenden werden exemplarisch verschiedene mögliche Methoden aufgegriffen. Die meisten Strategien sind hierbei Anpassungsstrategien und weniger Vermeidungsstrategien (eher Adaption als Mitigation).

So ist im Bereich der Stadtplanung durch den Verzicht von stark allergiefördernder oder Pflanzen mit einem hohen Allergiepotential im Stadtbild etwas, was gegen die längere Pollensaison unternommen werden kann, wodurch die Allergiker zumindest den Pollen in

geringerer Dosis ausgesetzt wären. Dies ist zum Beispiel eher eine Anpassungsstrategie. Gegen invasive Pflanzen wie zum Beispiel die Ambrosia kann eine aktive Meldepflicht eingeführt werden wie es das auch in der Schweiz unter anderem gehandhabt wird, um die Anzahl und die Verbreitung der Pflanze zu verhindern, indem man die Pflanze durch zum Beispiel Ausreißen entfernt. Eine andere Maßnahme um invasive Pflanzen von der Verbreitung abzuhalten ist die Kontrolle von kontaminierten Waren, wie zum Beispiel Vogelfutter, um die Ausbreitung weiter zu reduzieren (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 142). Allgemein ist dieses Verfahren natürlich auch auf andere Pflanzen anwendbar.

Ein andere Strategie zur Anpassung, diesmal wegen der Hitze oder der Kälte kann im Bereich des Bauwesens vorgenommen werden. Durch die Beachtung von einer gesteigerten Gebäudeisolierung und Steigerung der Energieeffizienz von alten und neu gebauten Häusern kann nicht nur Heizkosten gespart werden und die Verbrennung verringert werden, sondern auf diese Weise kann auch gegen die Auswirkungen von extremer Hitze und Kältewellen vorgegangen werden. Die Wohnräume können durch die bessere Isolierung eine Art Schutzbereich bieten, wodurch mit einer Minderung der Sterbefälle, die durch Hitze und Kälte unterstützt werden, entgegen gewirkt werden kann, da die Räume in dem Gebäude in einer gemäßigten Temperatur gehalten werden und somit das Regulationssystem des Körpers eine geringere Arbeit zu verrichten hat (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 146).

Auch der Ausbau der städtischen Grünflächen mit ausreichend Schatten kann dazu beitragen, dass weniger CO<sub>2</sub> in der Luft ist, als auch, dass es die Luft kühlt und draußen aktiven Menschen Schatten spendet (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 146).

Eine Möglichkeit, um nicht mit den Folgen von Starkregenereignissen konfrontiert zu werden, wäre die Vermeidung hochwassergefährdeter Gebiete zu bebauen oder als Nutzfläche zu verwenden. Ansonsten kann durch schnelle und gründliche Sanierung nach einem Hochwasser auch gegen Schimmelpilze, die durch die Nässe entstehen, eine präventive Maßnahme ergriffen werden, um die Gesundheit danach zu schützen (vgl. CLIMATE SERVICE CENTER 2.0 2014, S. 13f.).

Eine weitere Maßnahme, die sowohl als Anpassungs- als auch Vermeidungsstrategie bezeichnen bar ist, ist eine Bewegung, die sich auch schon seit längerem breit macht. Die Reduktion vom Fleischverzehr beziehungsweise in vollständiger Vermeidung von Fleischprodukten, mit anderen Worten das Vegetariertum. Auf die Dauer könnten auf diese Weise die Viehbestände verringert werden und somit würde auch weniger Methan produziert

werden, was unter anderen zu den Treibhausgasen zählt. Dies ist eher eine Vermeidungsstrategie. Der geringere Verzehr von Fleischprodukten beziehungsweise Nahrung mit einem hohen Anteil gesättigter Fettsäuren aus tierischen Produkten kann sich dann auch positiv auf die Gesundheit auswirken, da das Herz-Kreislauf-Risiko sinkt (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 146).

Auch die Nutzung des Fahrrads oder andere aktive Transportmöglichkeiten, wird zur Einsparung von CO<sub>2</sub> – Ausstoß und anderen Feinstaub verwendet und wirkt sich auf diese Weise positiv auf die Gesundheit aus, da es auch zur Stärkung der Fitness beiträgt, was auch wieder eine Stärkung des Herz-Kreislaufsystems zur Folge hat (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 146).

Nicht zuletzt ist aber auch die Aufklärung der Menschen und somit die Verhaltensweisen, die sie an den Tag legen sollten, wie zum Beispiel die Benutzung von Mückenschutz eine direkte Baustelle. Die Entwicklung von zeitnahen neuen Medikamenten und Impfstoffen muss natürlich ebenfalls gewährleistet werden (vgl. BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 144).

In den Städten kann durch „verminderten Treibhausgasmissionen durch verminderten Kfz-Verkehr, Energieeinsparung und saubere Energiegewinnung verringern“ und damit verbunden auch die Luftverschmutzung, welche für die Menschen ein gesundheitliches Risiko darstellt (BRASSEUR/JACOB/SCHUCK-ZÖLLER 2017, S. 146).

Es muss zwar in Deutschland nicht mit einer so hohen Strahlung von UV-Strahlen gerechnet werden wie in Australien, aber dennoch können sich Schulen und Unternehmen von Kampagnen in Australien lernen, da sie sich schon länger mit der Problematik beschäftigen. Ebenfalls wird empfohlen für Hautkrebsscreening zu werben (vgl. CLIMATE SERVICE CENTER 2.0 2014, S. 29).

Es lässt sich also sagen, dass der Klimawandel mit seinen vielseitigen und vielschichtigen Veränderungen wesentliche Auswirkungen auch auf die Gesundheit der Menschen hat und haben wird.

#### 4.4. Küstenschutz

Deutschlands Küstenlinie ist in etwa 1300 km lang. Sie wird durch den Wasserstand der Nordsee, den Gezeiten und eine in nördliche Richtung verlaufende küstenparallele Strömung geformt. Windstau in Zusammenhang mit den Gezeiten sind die Ursache von Sturmfluten, die über die Flussmündungen weit ins Landesinnere eindringen können. In den vier Küstenbundesländern Hamburg, Bremen, Niedersachsen und Schleswig-Holstein sind insgesamt etwa 9700 km<sup>2</sup> der Landesfläche bedroht. In Niedersachsen sind in etwa 6.600 km<sup>2</sup> (14 %) und in Bremen 360 km<sup>2</sup> (89 %) der Landesfläche betroffen, die Einwohnerzahl dieser Gebiete liegt bei etwa 2,2 Millionen Menschen, wovon 1,2 Millionen auf Niedersachsen und 570 000 auf Bremen fallen (vgl. SCHIRMER 2016, S. 18; NLWKN 2007, S. 8). Der Küstenschutz ist in Deutschland Aufgabe der jeweiligen Bundesländer und fällt nicht in die Zuständigkeit der Bundesregierung. Der Schutz von bestehenden Küstenlinien und Siedlungsgebieten wird über bestehende Planwerke festgelegt. Ziele des Küstenschutzes sind sowohl Menschen und Güter vor Überflutungen zu schützen als auch die Stabilisierung der Küstenlinien, indem beispielsweise die Infrastruktur, die zum Schutz vor Erosion dient, gesichert wird. Da die Umsetzung der Küstenschutzziele wie schon erwähnt Aufgabe der jeweiligen Länder ist, weist jedes Bundesland eigene Schutz- und Maßnahmenkonzepte auf. So sind diese in Niedersachsen (zuzüglich der Inseln) und Bremen im „Generalplan Niedersachsen/Bremen“ und im „Generalplan Niedersachsen –Ostfriesische Inseln“ aus dem Jahr 2007 und 2010 festgelegt. In Hamburg über das „Bauprogramm Hochwasserschutz“ aus dem Jahr 1992 mit Ergänzung im Jahr 2012 und in Schleswig-Holstein im „Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein“ festgehalten. Die einzelnen Bundesländer setzen somit die Richtlinie zum Management von Hochwasserrisiken (EG-HWRM-RL) um, ein Instrument der Europäischen Union welches das Anfertigen Hochwasserrisikomanagementplänen als auch Hochwasserrisiko- und Hochwassergefahrenkarten nach einem gemeinsamen Standard ermöglicht (vgl. SCHIRMER 2016, S. 18).

Die wichtigsten Elemente im Festland-Küstenschutz sind tideoffene Sturmflutsperrwerke an den bedeutenden Nebenflüssen als auch an Eider und Ems sowie das vorhanden sein von Erddeichen, Barriere Inseln um den Seegang zu dämpfen, Salzwiesen, Watten, Vordeichländer und strukturellen Maßnahmen in den Städten. Seeseitig ausgerichtete Schutzdünen und auf der anderen Seite dem Watt zugekehrte Erddeiche schützen die Nord- und Ostfriesischen

Inseln.

In den aktuell vorhanden General- und Planwerken ist die Prüfung der momentanen Deichhöhe und des derzeitigen Zustandes festgeschrieben. Um den Anforderungen, die durch den Klimawandel hervorgehen gerecht zu werden, haben sich die betroffenen Bundesländer darauf geeinigt, die Deiche um zuzüglich 50 Zentimeter zu erhöhen – orientiert an dem jeweiligen Bemessungswasserstand, der die Grundlage für eine spätere Erhöhung darstellt. In diesem Zusammenhang wird auch vom „zukunftsorientierten Klimazuschlag“ gesprochen, dem sich die Küstenbundesländer verpflichtet haben. Zusätzlich haben diese sich darauf geeinigt den Planungshorizont vorübergehend auf 2050, statt 2100 zu begrenzen und jedes Jahrzehnt die Bemessungsansätze zu überprüfen, um sich auf noch nicht erfasste Veränderungen einzustellen. (vgl. SCHIRMER 2016, S. 20ff.). Die Küstenbundesländer, so SCHIRMER (2016, S. 22), richten sich nach den Einschätzungen des IPCC-Berichtes von 2014, wo steht, dass Berechnungen zufolge der Meeresspiegel bis zum Jahr 2050 um 14 – 21 cm steigt. Prognosen bis 2100 deuten auf einen Anstieg um 4 – 12 mm pro Jahr, das entspräche in etwa 20 – 60 cm.

## 5. Fazit

Es hat sich gezeigt, dass Klimawandelfolgen auch Deutschland treffen und sich auf das Leben der Bevölkerung auswirken. Wie stark die damit einhergehenden Veränderungen eintreffen hängt maßgeblich vom Umfang menschlichen Handelns ab. Da durch die Themenstellung der Hausarbeit der Fokus unter anderem auf den Anpassungsstrategien, also der Adaption, liegen sollte, sind wir in der Hausarbeit nicht weiter auf die Mitigation (Klimaschutzziele) eingegangen, sondern haben den Begriff vollständigkeitshalber nur erwähnt, um die Unterscheidung zwischen Mitigations- und Adaptionsmaßnahmen darzustellen. Dennoch möchten wir festhalten, dass Adaption und Mitigation vielmehr eine Synergie darstellen und gleichermaßen von Bedeutung sind. Damit die Adaption und somit die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel erfolgreich wird, ist auch die Mitigation von großer Bedeutung. Denn es hat sich gezeigt: je mehr Treibhausgase ausgestoßen werden, desto fataler sind die Konsequenzen, die aus dem Klimawandel resultieren, und umso schwieriger wird der Adaptionsprozess. Zwar ist es so, dass die Bundesregierung neben der Anpassungsstrategie auch Klimaschutzpläne aufgestellt hat, aber laut Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit werden diese nicht erfüllt (vgl. BUMB 2016, S. 2).

Mit der Deutschen Anpassungsstrategie wurde ein sinnvolles Instrumentarium geschaffen, um Deutschlands Vulnerabilität gegenüber Klimawandelfolgen zu mindern. Jedoch darf es nicht das einzige Ziel sein bestmöglich auf die bevorstehenden Veränderungen vorbereitet zu sein, sondern Deutschland steht auch in der Pflicht als einer der Nationen, welche den Klimawandel durch ihre Aktivitäten verstärken, die Treibhausgasemission zu reduzieren und andere Nationen zu animieren, mitzuziehen. Auch im Hinblick auf die Staaten, die zwar keinen signifikanten Anteil zur Erderwärmung beitragen, aber dennoch die Folgen tragen müssen und nicht die Ressourcen aufbringen können, um Anpassungsstrategien nach deutschem Vorbild zu entwickeln.

# Literaturverzeichnis

BAGLEY, M. (2014): Devonian Period: Climate, Animals & Plants. - URL: <https://www.livescience.com/43596-devonian-period.html> [04.01.2018].

BBK [BUNDESAMT FÜR BEVÖLKERUNGSSCHUTZ UND KATASTROPHENHILFE] (2012): Pressemitteilung – Gewappnet für extreme Wetterereignisse. [https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/BBK/DE/2012/PM\\_Behoerdenallianz\\_Berlin\\_2012.html?nn=1897842](https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/BBK/DE/2012/PM_Behoerdenallianz_Berlin_2012.html?nn=1897842) [14.11.2017].

BBK [BUNDESAMT FÜR BEVÖLKERUNGSSCHUTZ UND KATASTROPHENHILFE] (2016): Klimawandel – Herausforderung für den Bevölkerungsschutz. Bonn

BKG [BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE] (o.J.): Deutschlandkarten. – URL: [www.bkg.bund.de/DE/Produkte-und-Services/Shop-und-Downloads/Landkarten/Karten-Downloads/Deutschlandkarten/deutschlandkarten.htm](http://www.bkg.bund.de/DE/Produkte-und-Services/Shop-und-Downloads/Landkarten/Karten-Downloads/Deutschlandkarten/deutschlandkarten.htm) [02.01.2018].

BMUB [BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT] (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel - vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen. Bonn.

BMUB [BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT] (Hrsg.) (2016): Projektionsbericht der Bundesregierung 2015. Zusammenfassung der Ergebnisse. Bonn.

BMVi [BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR] (Hrsg.) (2015): KLIWAS. Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. Abschlussbericht des BMVi. Fachliche Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen des Forschungsprogramms KLIWAS. Berlin.

BMVi [BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR] (Hrsg.) (2017): Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel. Ergebnisse der Modellvorhaben Transfer KlimaMORO und MORO KlimREG. MORO Informationen, Nr. 13/4. Bonn.

BRASSEUR, G. P./JACOB, D./SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Heidelberg u.a.

BUBENZER, O./RADTKE, U. (2007): Natürliche Klimaänderungen im Laufe der Erdgeschichte. - In: ENDLICHER, W./GERSTENGARBE, F.-W. (Hrsg.): Der Klimawandel. Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Berlin und Potsdam. S. 17–26.

CLIMATE SERVICE CENTER 2.0 (2014): Gesundheit und Klimawandel. Handeln, um Risiken zu minimieren. Geesthacht.

DEUTSCHER WETTERDIENST (2016a): Nationaler Klimareport 2016. Klima – Gestern, heute und in der Zukunft. Offenbach.

DEUTSCHER WETTERDIENST (2016b): Klimastatusbericht 2016. Offenbach.

DEUTSCHER WETTERDIENST (2017): Nationaler Klimareport. Klima – Gestern, heute und in der Zukunft. Offenbach.

GLASER, R. (2014): Global Change. Das neue Gesicht der Erde. Darmstadt.



HELD, I.M./SODEN, B.J. (2006): Robust Responses of the Hydrological Cycle to Global Warming. - URL: <http://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/JCLI3990.1> [07.01.2018].

IPCC [INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE] (2014): Topic 1: Observed Changes and their Causes. - In: IPCC: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team/PACHAURI, R.K./MEYER, L.A. (eds.)]. Geneva, Schweiz. S. 40–64.

KASANG, D. (o.J.): Das Klima der letzten 1000 Jahre. – URL: <http://bildungsserver.hamburg.de/klimageschichte/2046834/die-letzten-1000-jahre/> [07.12.2017].

KOPPE, W./SIEBERT, S./UHLENBROCK, K./HEBOLD, W./GOEDECKE, K./PYRITZ, E. (2017): Infoblatt Klimawandel. - URL: <https://www.klett.de/alias/1016048> [03.01.2018].

LFU [BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT] (2016): Das Klima der Vergangenheit. - URL: [https://www.LFU.bayern.de/buerger/doc/uw\\_82\\_klima\\_vergangenheit.pdf](https://www.LFU.bayern.de/buerger/doc/uw_82_klima_vergangenheit.pdf) [19.12.2017].

MERKEL, E. (o.J.a): Klimatabelle Lissabon. - URL: <https://www.klimatabelle.info/europa/portugal/lissabon> [07.01.2018].

MERKEL, E. (o.J.b): Klimatabelle New York. - URL: <https://www.klimatabelle.info/nordamerika/usa/new-york> [07.01.2018].

MUEEF [MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE, ERNÄHRUNG UND FORSTEN RHEINLAND PFALZ] (o.J.): <https://mueef.rlp.de/en/themen/umweltschutz-umwelt-und-gesundheit/industrieanlagen/stoerfallanlagen/> [19.12.2017].

NLWKN [NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ] (Hrsg.) (2007): Generalplan Küstenschutz Niedersachsen/Bremen-Festland. Norden.

NOAA [NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION] (2017a): Currents. - URL: [https://oceanservice.NOAA.gov/education/tutorial\\_currents/welcome.html](https://oceanservice.NOAA.gov/education/tutorial_currents/welcome.html) [04.01.2018].

NOAA [NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION] (2017b): Currents. Thermohaline Circulation. - URL: [https://oceanservice.NOAA.gov/education/tutorial\\_currents/05conveyor1.shtml](https://oceanservice.NOAA.gov/education/tutorial_currents/05conveyor1.shtml) [04.01.2018].

NOAA [NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION] (2017c): Currents. The Global Conveyor Belt. - URL: [https://oceanservice.NOAA.gov/education/tutorial\\_currents/05conveyor2.html](https://oceanservice.NOAA.gov/education/tutorial_currents/05conveyor2.html) [04.01.2018].

NOAA [NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION] (2017d): Currents. Effects of Climate Change. - URL: [https://oceanservice.NOAA.gov/education/tutorial\\_currents/05conveyor3.html](https://oceanservice.NOAA.gov/education/tutorial_currents/05conveyor3.html) [04.01.2018].

REITER, P. (2001): Climate Change and Mosquito-Borne Disease. - In: Environmental Health Perspectives, Vol. 109, S. 141-144.

RITTER, E.-H. (2007): Klimawandel - eine Herausforderung an die Raumplanung. - In: Raumforschung und Raumordnung, Vol. 67, S. 531-538.

SALZMANN, W. (2012): Eiszeitalter und Eiszeit. - URL: <http://www.physik.wissenstexte.de/eiszeit.htm> [03.01.2018].

SCHIRMER, M. (2016): Küstenschutz im 21. Jahrhundert. Niederländische und deutsche Konzepte im Vergleich – In: Geographische Rundschau, Nr. 4, S. 18-25.

SPARLING, B. (2001): The Ozone Layer. - URL: <https://www.nasa.gov/About/Education/Ozone/ozonelayer.html> [04.01.2018].

SPW [SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT] (1999): Paläoklimatologie. - URL: <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/palaeoklimatologie/48929> [03.01.2018].

SPW [SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT] (2000): Anthropogene Klimabeeinflussung. - URL: <http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/anthropogene-klimabeeinflussung/778> [29.12.2017].

SPW [SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT] (2001): Global change. - URL: <http://www.spektrum.de/lexikon/geographie/global-change/3131> [14.12.2017].

STANLEY, S. (2016): Early Agriculture Has Kept Earth Warm For Millenia. - In: Earth & Space Science News, Vol. 97, Nr. 5, S. 27.

UMWELT DIALOG (2017): Erde am Limit: Fast 1,5 °C Erderwärmung 2016. - URL: <http://www.umweltdialog.de/de/umwelt/klima/2017/Die-Erde-am-Limit-Fast-1-5-C-Erderwaermung-im-Rekordjahr-2016.php> [14.12.2017].

UMWELTBUNDESAMT (2013): Die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. - URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/anpassung-auf-bundesebene/deutsche-anpassungsstrategie> [14.12.2017].

UMWELTBUNDESAMT (2015): Monitoringbericht 2015 zur Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Dessau-Roßlau.

VEREINTE NATIONEN (1992): Rahmenübereinkommen der vereinten Nationen über Klimaänderungen. New York.

WILHELM, S. (2007): Klimawandel: Es wird wärmer. - URL: <https://www.geo.de/geolino/natur-und-umwelt/8535-rtkl-globale-erwaermung-klimawandel-es-wird-waermer> [02.01.2018].

WOR [WORLD OCEAN REVIEW] (Hrsg.) (2010): Living with the oceans. A report on the state of the world's oceans. Hamburg. S. 60.

## Anhang

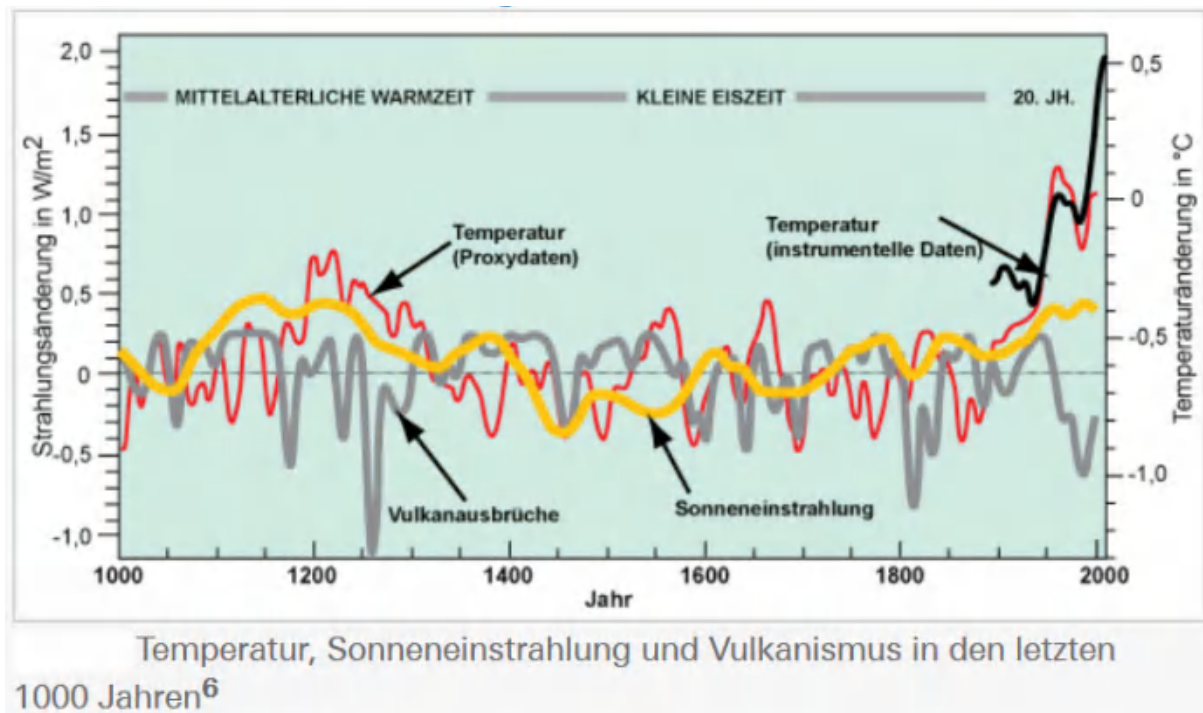


Abb. 1: KASANG (o.J.): Temperaturverlauf der letzten 1000 Jahre, o.S.

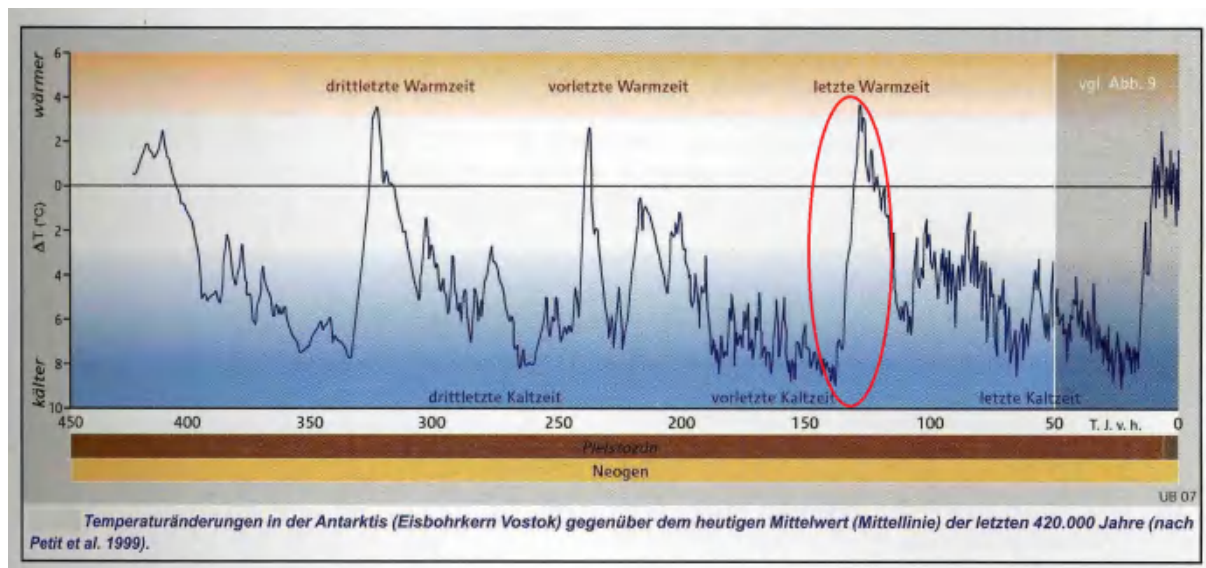
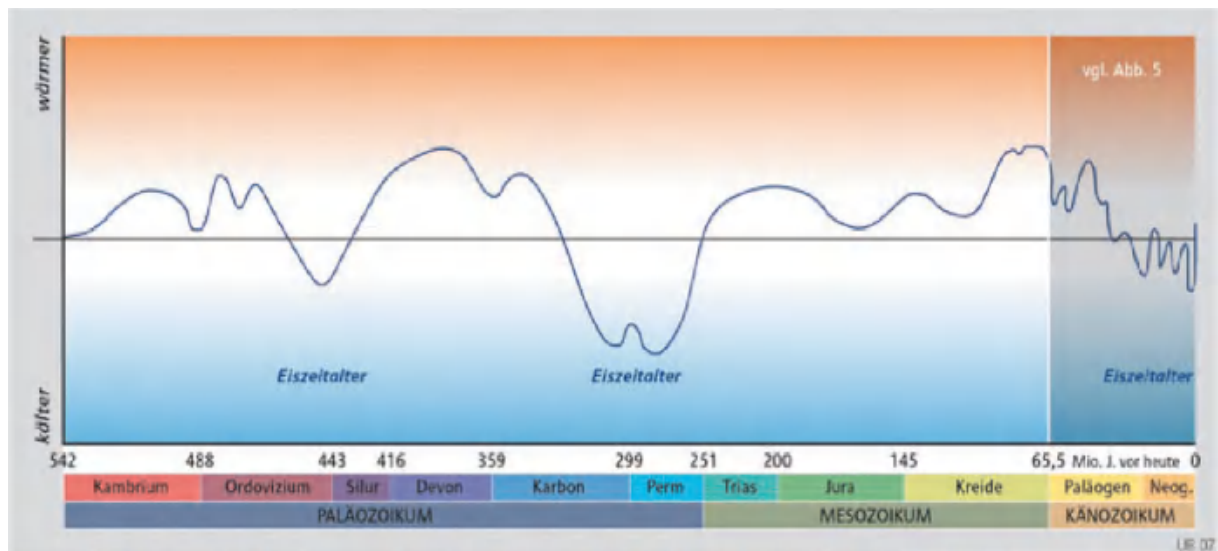


Abb. 2: BUBENZER, O./RADTKE, U. (2007): Temperaturverlauf der letzten 420.000 Jahre, S. 21.



Globale Temperaturänderungen gegenüber dem heutigen Mittelwert (Mittellinie) der letzten 542 Millionen Jahre auf Basis unterschiedlicher Datenquellen (verändert nach Bradley 1999, Altersangaben nach International Commission on Stratigraphy (2007)).

Abb. 3: BUBENZER, O./RADTKE, U. (2007): Temperaturverlauf der letzten 542 Millionen Jahre, S. 23.