

„ Das Pendel schwingt immer weiter aus, es gibt immer neue Rekorde bei Temperatur, Trockenheit, Hitzewellen-Dauer, Niederschlagsdefizit. “
 Kirsten Thonicke, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), Januar 2020

Wie geht es weiter?

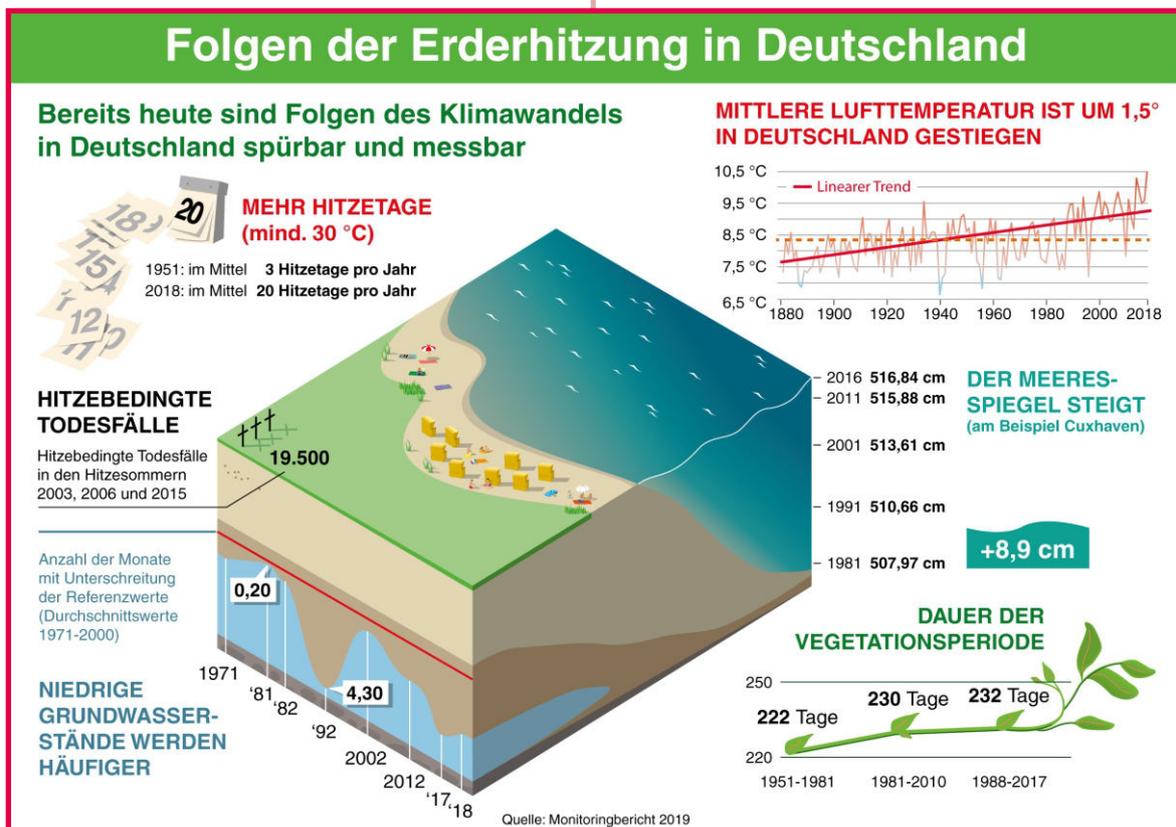
Nach den Ergebnissen der Klimamodellrechnungen müssen wir in Deutschland bis zum Jahr 2050 mit folgenden Änderungen rechnen:

- ▶ im Sommer werden die Temperaturen um 1,5 °C bis 2,5 °C höher liegen als 1990
- ▶ im Winter wird es zwischen 1,5 °C und 3 °C wärmer werden
- ▶ im Sommer können die Niederschläge um bis zu 40 % geringer ausfallen
- ▶ im Winter kann es um bis zu 30 % mehr Niederschlag geben.

Schon heute sind hierzulande erste Folgen des Klimawandels spürbar, und die Projektionen sind klar. Für Deutschland zeigen die Klimaszenarien für alle Jahreszeiten eine deutliche Temperaturzunahme und jahreszeitenabhängig z. T. uneinheitliche Tendenzen bei den Niederschlägen.

Zum Jahrhundertende ergibt sich für das »Weiter-wie-bisher«-Szenario RCP8.5 gegenüber den Jahren von 1971 bis 2000 ein Anstieg der Temperatur um etwa drei bis fünf Grad, im ambitionierten Klimaschutzszenario RCP2.6 um nur etwa ein Grad.

Wegen der typischen Schwankungen des Klimas wird es auch weiterhin wärmere und weniger warme Jahre geben - aber es gibt keinen Zweifel daran, dass langfristig mit einem weiteren Temperaturanstieg in Deutschland zu rechnen ist.



Bisherige Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland
 Quelle: Umweltbundesamt, offene Grafik zum Monitoringbericht Klimawandel 2019

“ Wenn das Wasser zur Neige geht, beginnen die Kämpfe. Zunächst zwischen Nachbarn, dann zwischen Stadtvierteln. Am Ende wird daraus ein Krieg – ums Wasser. “

General a. D. Luis Palomino Rodriguez,
ehemaliger Offizier der peruanischen Armee

■ Weltweit schmelzen Gebirgsgletscher

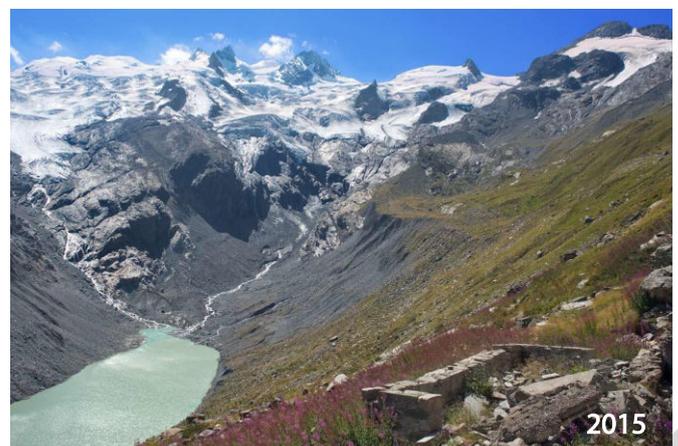
Zu den sichtbarsten Auswirkungen des Klimawandels gehört der Rückgang der Gebirgsgletscher. Als Faustregel gilt: Bei einer Erwärmung um 1°C steigt die Schneefallgrenze um 150 Höhenmeter an und die Gletscherzunge zieht sich um (mindestens) 150 Höhenmeter zurück.

Hier ein paar Fakten:

- ▶ In den Alpen ist seit dem Gletschermaximum von 1850 bis zum Jahr 2012 etwa die Hälfte der Gletscherfläche abgeschmolzen.
- ▶ Die Gletscher befinden sich nicht im Gleichgewicht mit der gegenwärtigen Erwärmung - auch ohne weitere Erwärmung würden sie weiter zurückschmelzen, bei anhaltendem Klimawandel bis weit hinter das bisherige nacheiszeitliche Minimum.
- ▶ Die Eisdicke der beobachteten Gletscher nimmt weltweit jährlich um einen halben bis einen Meter ab, das ist zwei- bis dreimal so viel wie im Jahresdurchschnitt des 20. Jahrhunderts.
- ▶ Würden alle Gletscher der Erde außerhalb Grönlands und der Antarktis abschmelzen, würde dies den Meeresspiegel um 0,5 m ansteigen lassen.



1950



2015

Vergleich des Roseggletscher, Kanton Graubünden, Schweiz, 1950 und 2015
Quelle: © Sammlung Gesellschaft für ökologische Forschung / Wolfgang Zängl

■ Folgen der Gletscherschmelze

Das verstärkte Abschmelzen lässt zwischen dem vom Gletscher an seinem früheren Ende abgelagerten Gesteinsschutt, dem Endmoränenwall, und dem zurückweichenden Gletscherende Gletscherseen entstehen oder wachsen. Hält der Endmoränenwall dem steigenden Wasserdruck nicht mehr stand, läuft der See aus. In **Nepal und Bhutan** gibt es fast 5.000 Gletscherseen, von denen 44 als auslaufgefährdet gelten. Schon zwischen 1985 und 1995 haben dort 17 größere Gletscherseen ihre Wälle durchbrochen, es kam zu 15 m hohen Flutwellen und Verlusten an Menschenleben.

In der **peruanischen Hauptstadt Lima** und ihren Vorstädten leben mehr als acht Millionen Menschen mitten in der Wüste. Gespeist wird ihre Wasserversorgung von Gletschern in den Anden, die schon in zwei Jahrzehnten verschwunden sein können.

Woher soll die Bevölkerung Limas dann das Wasser nehmen? Wird man gewaltsame Konflikte ums Wasser verhindern können?

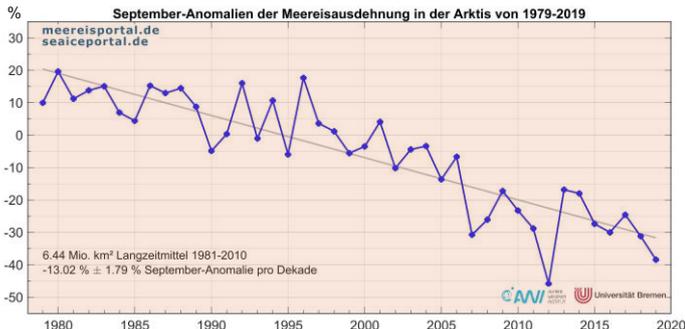
Fazit:

Weltweit schmelzen fast überall die Gebirgsgletscher. Dabei sich bildende Gletscherseen können ausbrechen und die talabwärts lebende Bevölkerung gefährden. Durch das Ansteigen der Frostgrenze wächst die Gefahr von Bergstürzen. In Trockengebieten wird nach dem Abschmelzen der Gletscher Trink- und Bewässerungswasser fehlen, was zu Unruhen führen und die Kriegsgefahr in und zwischen Staaten erhöhen kann.

“ Die Polarregion ist unser Frühwarnsystem, dort zeigen sich Klimaeffekte zuerst. “
 Lars Kaleschke, Uni Hamburg in: Süddeutsche Zeitung, 29.12.2012

Das Meereis schwindet

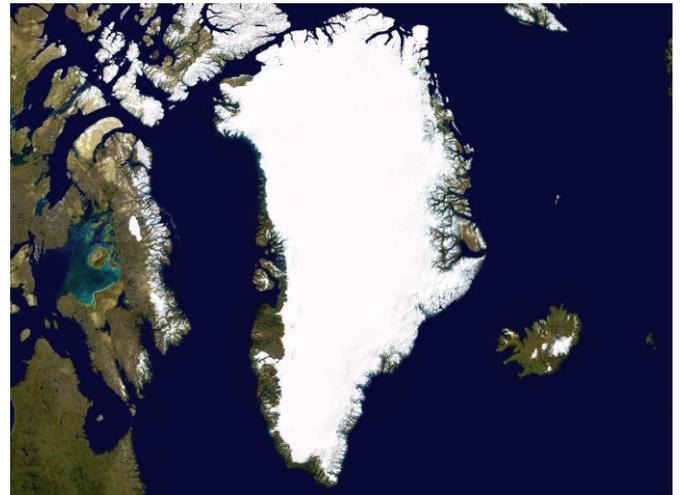
Das wenige Meter dicke Eis des arktischen Ozeans ist eine Fläche, die im Sommer schrumpft, im Winter wächst und die zusätzlich über die Jahre abnimmt.



Sommerliches Meereisminimum der Jahre 1979-2019

Quelle: www.meereisportal.de/archiv/2016-kurzmeldungen-gesamttexte/arktisches-meereis-auf-dem-rueckzug/#c7333

Viele Klimamodelle können dieses rasche Schwinden nicht wiedergeben, sind also zu konservativ. Realitätsnahe Klimamodelle zeigen bei weiter ansteigendem CO₂-Ausstoß noch vor der Jahrhundertmitte einen im September nahezu eisfreien Ozean. Das Schwinden des Meereises wird erhebliche ökologische Folgen haben. Schmilzt das Meereis, tritt dunkles Meerwasser zutage, Sonnenlicht wird weniger reflektiert, und es wird noch wärmer.



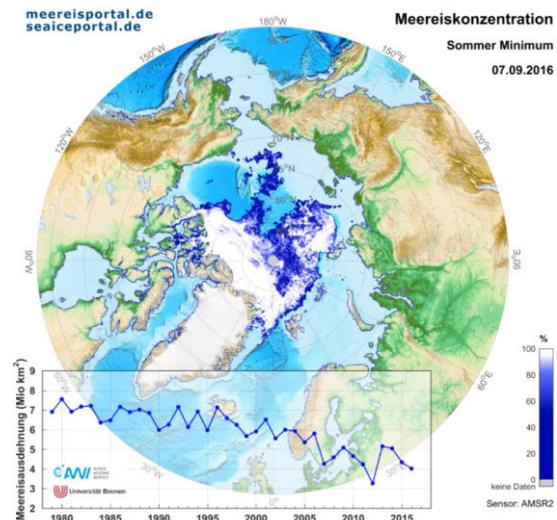
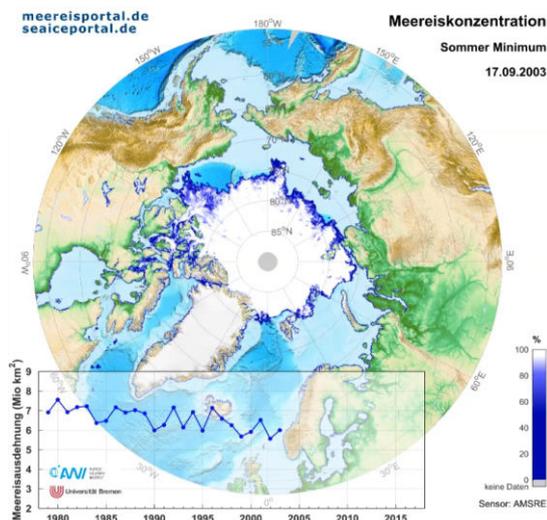
Satellitenaufnahme von Grönland
 Quelle: de.wikipedia.org/wiki/Grönland

Auch die Eismassen Grönlands schmelzen immer schneller

Der Grönländische Eisschild hat allein zwischen den Jahren 2003 und 2010 doppelt so viel Masse verloren wie im gesamten 20. Jahrhundert.

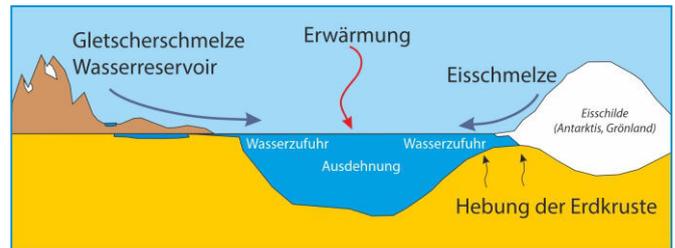
Fazit:

Das Abschmelzen des arktischen Meereises beschleunigt die Erderwärmung, trägt aber nicht direkt zum Anstieg des Meeresspiegels bei. Dagegen steigt dieser um sieben Meter, falls die Eismassen Grönlands abschmelzen sollten. Dieser Prozess könnte schon bei einer globalen Erwärmung um zwei Grad unumkehrbar in Gang kommen.



Vergleich der Eisbedeckung in der Arktis 2003 und 2016, jeweils Sommerminimum
 Quelle: www.meereisportal.de/meereisentwicklung/animationen/

„ Wann in der Geschichte mussten wir darüber entscheiden, ganze Länder verschwinden zu lassen? “
 Ein Vertreter Tuvalus im Namen von 43 Inselstaaten auf der UN-Klimakonferenz von Nairobi 2006.



Ursachen des Meeresspiegelanstiegs
 Quelle: bildungsserver.hamburg.de/meeresspiegelanstieg/2127658/meeresspiegel-einfuehrung/ (geändert)

Der Meeresspiegelanstieg in den letzten Jahrtausenden

Die erste schriftliche Überlieferung der Menschheit (das Gilgamesch-Epos), die Bibel und Mythen vieler anderer Völker erzählen von der zerstörerischen Gewalt großer Fluten. Hintergrund könnte der Anstieg des Meeresspiegels um etwa 125 m seit dem Höhepunkt der letzten Eiszeit vor 20.000 Jahren sein, als das Klima global ca. 4 bis 7°C kälter war. Pro Jahrhundert stieg die Flut um bis zu vier Meter.

Der zukünftige Anstieg des Meeresspiegels

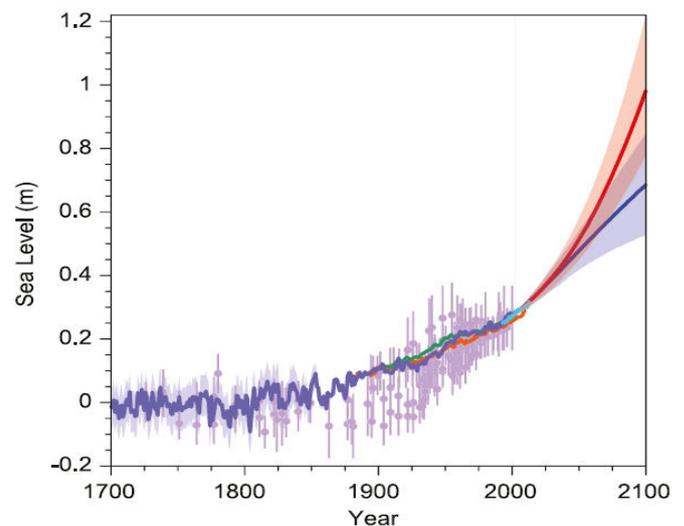
Für die Zukunft ist laut Weltklimarat IPCC mit weiter anschwellendem Meeresspiegel zu rechnen. Je nach Klimamodell und Emissionsszenario beträgt der Anstieg für die Jahre 2080-2099 0,26 bis 0,82 m im Vergleich zu 1986 – 2005.



Überschwemmte Gebiete an der Nordsee bei einem Anstieg des Meeresspiegels um 1 und 3 Metern
 Quelle: <https://climate.nasa.gov/interactives/climate-time-machine>

In den letzten zwei Jahrtausenden blieb der Meeresspiegel fast konstant.

Wenn er jetzt erneut ansteigt, ist der Mensch nicht mehr nur Opfer, sondern auch Verursacher der Fluten. Die Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstiegs hat sich im Zeitraum zwischen 1993 und 2010 mit 3,2 mm pro Jahr im Vergleich zum 20. Jahrhundert fast verdoppelt.



Potentieller Meeresspiegelanstieg
 Quelle: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

Fazit:

Weltweit sind derzeit etwa 75 Millionen Menschen an den Küsten von sturmbedingten Überschwemmungen bedroht. Steigt der Meeresspiegel um 40 cm an, erhöht sich deren Zahl auf schätzungsweise 240 Millionen.

15 Was interessiert uns der Golfstrom?

„Aus wissenschaftlicher Sicht deutet nichts auf eine kurz bevorstehende drastische Strömungsänderung hin, ein solches Szenario muss als sehr unwahrscheinlich gelten. Auf längere Sicht und bei starker weiterer Klimaerwärmung – etwa ab der Mitte dieses Jahrhunderts – kann dies jedoch zu einer ernsthaften Gefahr werden.“

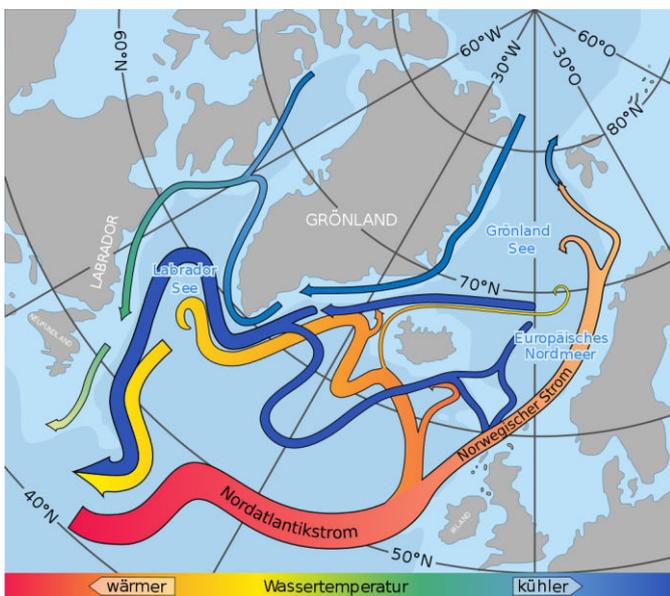
Stefan Rahmstorf, Klimaforscher

Der Nordatlantikstrom

Der umgangssprachlich als Golfstrom bezeichnete Nordatlantikstrom bewegt fast hundert Mal so viel Wasser wie der Amazonas. Die Golfstromzirkulation transportiert warmes und relativ salziges Wasser aus den Subtropen bis in die Arktis und trägt so zu dem moderaten Klima Nordeuropas bei. Deutschland wird von der Golfstromzirkulation beeinflusst, wie auch Norwegen mit seinen ganzjährig eisfreien Häfen oder die Westküste Spitzbergens, die trotz ihrer nördlichen Lage mehrere Monate lang kein Meereis aufweist.

Weil in der Arktis Wasser mit höherer Dichte in die Tiefe des Ozeans hinabsinkt, strömt tropisches Warmwasser polwärts nach. Gründe für die höhere Dichte des arktischen Wassers sind:

- ▶ Das Ozeanwasser hat sich auf seinem Weg nach Norden abgekühlt.
- ▶ Sein Salzgehalt hat sich erhöht, weil unterwegs Wasser verdunstet ist.



Nordatlantikstrom

Quelle: de.wikipedia.org/wiki/Nordatlantikstrom

Ein abrupter Meeresspiegelanstieg?

Sollte der Nordatlantikstrom jemals zum Erliegen kommen, wäre mit Folgendem zu rechnen:

- ▶ Der Nordatlantikraum würde rasch um mehrere Grad abkühlen, Szenarien einer Eiszeit für Europa sind dabei unrealistisch. Die Südhalbkugel würde sich stärker erwärmen.
- ▶ Der Meeresspiegel im Nordatlantik würde aufgrund der veränderten Strömungsverhältnisse umgehend um bis zu einem Meter steigen.
- ▶ Die Nährstoffversorgung des nördlichen Atlantiks, der zu den ertragreichsten Fischgründen der Erde gehört, dürfte sich verschlechtern, weil das Wasser weniger mit nährstoffreichem Tiefenwasser durchmischt würde.
- ▶ Der Ozean würde weniger Kohlendioxid aufnehmen, was den Treibhauseffekt verstärken würde.

Der Nordatlantikstrom wird sich abschwächen

Wird es in der Polarregion wärmer, verdünnen Schmelzwasser aus Grönland und verstärkte Niederschläge das Meerwasser im Nordatlantik, das sich zudem erwärmungsbedingt ausdehnt. Beides erschwert das Absinken und damit das Nachströmen von warmem Wasser aus südlicheren Breiten. Der Weltklimarat IPCC urteilt, dass der Nordatlantikstrom sehr wahrscheinlich im 21. Jahrhundert schwächer werden wird.

Manche Experten halten schon bei einer Erwärmung von 2°C - 4°C noch in diesem Jahrhundert einen Kollaps des Nordatlantikstroms für möglich. Schon mehrmals in der Vergangenheit, z. B. vor etwa 8200 Jahren, schwächte sich der Nordatlantikstrom deutlich ab oder kam zum Erliegen. Ursache war die nacheiszeitliche Eisschmelze.

Fazit:

Der Europa wärmende Nordatlantikstrom wird sich im 21. Jahrhundert sehr wahrscheinlich abschwächen, was erhebliche Folgen u. a. für den Meeresspiegel, maritime Ökosysteme und die Fischerei haben kann. Manche Experten halten es für möglich, dass der Nordatlantikstrom in diesem Zeitraum sogar zum Erliegen kommt.

„ Der Klimawandel ist die größte Bedrohung der Weltgesundheit im 21. Jahrhundert.“
 Aus einem Übersichtsartikel weltweit führender Experten zu Fragen von Klimawandel und Gesundheit

■ Allergien

Die Pollen des Beifußblättrigen Traubenkrauts (*Ambrosia artemisiifolia*) gehören zu den stärksten Allergie-Auslösern. Eine einzelne Pflanze kann bis zu einer Milliarde Pollenkörner produzieren. Schon elf Pollen je Kubikmeter gelten als starke Belastung. Die nur 0,02 Millimeter großen Pollenkörner verbreiten sich morgens während der Blütezeit von Juli bis Oktober. Die aus Nordamerika stammende Pflanze macht sich seit Anfang der 1990er Jahre in Gärten, an Bahndämmen, Wegrändern und auf Schutthalden in Süddeutschland und um Berlin herum breit. Sie wird häufig durch verunreinigtes Vogelfutter verbreitet. Die einjährige krautige Pflanze erreicht eine Wuchshöhe von 20 bis 150 Zentimetern. Einer Studie zufolge könnte die Zahl der Ambrosia-Allergiker in Europa infolge des Klimawandels von derzeit 33 Millionen auf mehr als das Doppelte ansteigen.



Beifußblättriges Traubenkraut (*Ambrosia artemisiifolia*)
 Quelle: de.wikipedia.org/wiki/Beifußblättriges_Traubenkraut
 Stefan.Jefnaer

In Deutschland leiden 15% der Menschen unter Heuschnupfen. Der Klimawandel verfrüht die Pollensaison, weil sich in Europa die Frühlingsphasen durchschnittlich um etwa zwei Wochen vorverlegt haben. Er verlängert die Pollensaison zudem und kann die Ausbreitung allergieauslösender Arten, etwa der Ambrosia, fördern.

■ Plagegeister und ihre Krankheitserreger

Auch Infektionen können sich im Zuge der Erwärmung in Deutschland ausbreiten: Etwa die von Zecken übertragene FSME-Hirnhautentzündung und die Lyme-Borreliose. Seit 2007 ist die tagaktive, extrem aggressive Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*) vereinzelt auch in Deutschland anzutreffen. In den Tropen verbreitet sie weit über 20 Krankheitserreger, auch das gefürchtete Denguefieber. Aufgrund des Klimawandels wird die Tigermücke zwischen 2030 und 2050 in weiten Teilen Europas die nötigen Lebensbedingungen vorfinden. Eine Mücke kann einen Krankheitserreger jedoch nur weitertragen, wenn sie zunächst auf einen Infizierten trifft.



Tigermücke

Quelle: de.wikipedia.org/wiki/Asiatische_Tigermücke
 James Gathany, CDC - Centers for Disease Control and Prevention's Public Health

Fazit:

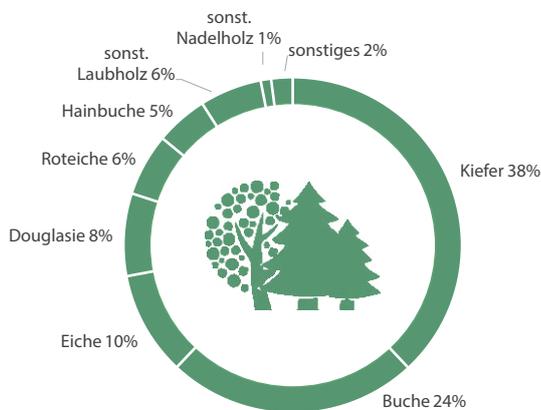
Der Klimawandel beeinflusst die Gesundheit auf direkten und auf indirekten Wegen: Häufigere und heftigere Hitzewellen, Dürren, Überflutungen und Stürme können unmittelbar Leib und Leben der Menschen gefährden. Zudem kann der Klimawandel bei Dürren und Fluten die Wasserqualität verschlechtern, bei Waldbränden die Luft verschmutzen oder die Lebensraumgrenzen von schädlichen Tier- und Pflanzenarten (z. B. der Tigermücke) verschieben und dadurch indirekt die Gesundheit beeinträchtigen. Gesundheitliche Folgen des Klimawandels sind Verletzungen, Unterernährung, Vergiftungen, Infektionskrankheiten (z. B. die von Zecken übertragene FSME- Hirnhautentzündung), Atemwegserkrankungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Allergien und psychische Erkrankungen.

“ *Fest steht, dass bereits jetzt schon die Auswirkungen des Klimawandels in einer bislang so nicht vorhersehbaren Geschwindigkeit zu Veränderungen in Flora und Fauna und damit ganzer Lebensgemeinschaften geführt haben.* “

Karin Blessing,
Umweltakademie Baden-Württemberg

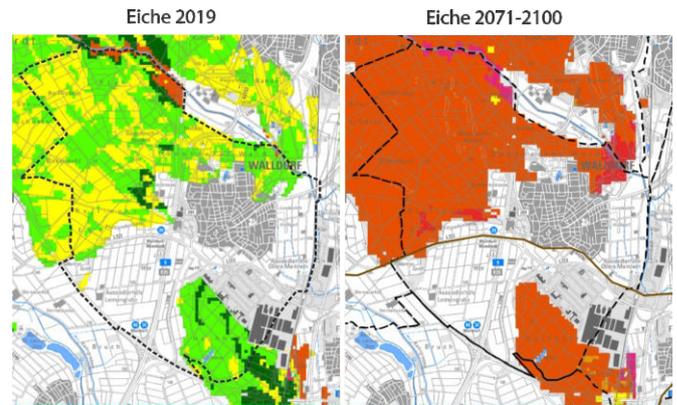
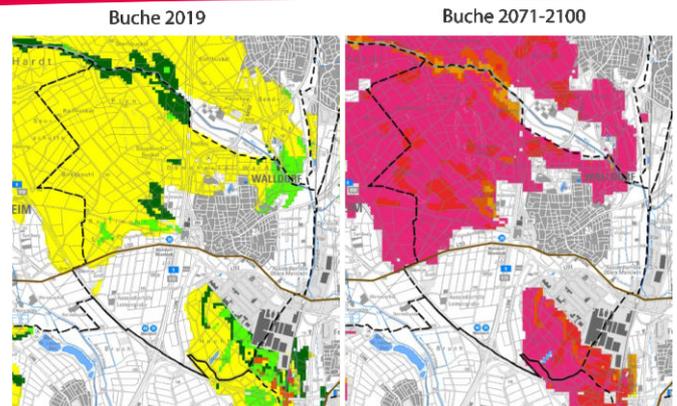
Wälder im Klimawandel-Stress

Wälder und Klima sind eng miteinander verbunden. Die sensiblen Lebensgemeinschaften von Pflanzen und Tieren haben sich an das jeweilige Regionalklima mit bestimmten Temperatur- und Niederschlagsbedingungen angepasst. Untypische Witterungsextreme wie starke Hitze und Trockenheit, starke Stürme und Gewitter können an Wäldern dauerhafte Schäden anrichten. Diese Stressfaktoren durch den einsetzenden Klimawandel belasten den Wald.



Baumartenzusammensetzung im Walldorfer Wald
Quelle: Stadt Walldorf

Eine weitere große Gefahr geht von Schädlingen wie zum Beispiel dem Borkenkäfer aus. Diese Schadinsekten profitieren von den steigenden Temperaturen und haben mit den geschwächten Bäumen leichtes Spiel. Auch andere Schädlinge wie Eichenprozessionsspinner, Schwammspinner sowie Eschentriebsterben und Diplodia-Triebsterben sorgen für gravierende Schäden an unseren Wäldern. Eine Massenvermehrung von wärmeliebenden Schädlingen bedeutet für klimagestresste Bäume oft den sicheren Tod.



Baumarteneignungen in Walldorf
Quelle: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Vor allem auf den trockenen, sandig-kiesigen Standorten der Oberrheinebene kommt es in den letzten Jahren verstärkt zu einem großflächigen Ausfall der Kiefer. Die wenig wasserhaltenden und schwer durchwurzelbaren Böden sind dort durch die extreme Dürre der letzten Jahre so stark ausgetrocknet, dass die Kiefer unter erheblichem Trockenstress leidet und oftmals abstirbt.

Fazit:

Die heimischen Wälder stehen hier stellvertretend für Tausende von erforschten Beispielen, wie der Klimawandel Arten und Ökosysteme beeinflussen kann und für Zigtausende bisher unerforschte. Da Lebewesen Zeit zur Anpassung brauchen, ist beim Klimawandel die Geschwindigkeit genauso wichtig wie das Ausmaß. Bis zum Ende des Jahrhunderts könnte der Klimawandel die stärkste Bedrohung für die Biodiversität der Erde darstellen

18 Wenn der Klimawandel galoppiert...

„ Die Verbrennung fossiler Energieträger hat die Treibhausgase in der Atmosphäre auf ein beispielloses Niveau getrieben. Wir nähern uns beim Klima gefährlichen Kipp-Punkten, die, einmal überschritten, zu abrupten und unumkehrbaren Veränderungen im Erdsystem führen können. Das macht die Herausforderung so einzigartig: Mit dem Klima kann man um keinen Aufschub verhandeln.

Horst Köhler,

deutscher Bundespräsident von 2004 bis 2010. Zeit, 15.12.2016

“

■ Ein rasanter Klimawandel in der Vorzeit

Vor 55 Mio. Jahren wandelte sich das Klima der Erde rasant. Innerhalb von höchstens tausend Jahren gelangte eine große Menge CO₂ in die Atmosphäre, die Temperatur stieg um ca. fünf bis sechs Grad an. Folge war ein Massensterben von Arten.

Was war die Ursache? Möglicherweise sind Methaneisvorkommen am Meeresboden instabil geworden. Im Methaneis, auch Methanhydrat genannt, sind Methanmoleküle in winzigen Käfigen aus Eiskristallen gefangen. Es ist nur unter hohem Druck und bei Temperaturen unter zwei bis vier Grad stabil, im Ozean ab 200 m Tiefe. Dort lagert es in den Sedimenten der Kontinentalabhänge.

Das im Methanhydrat enthaltene Methan bzw. sich daraus bildendes CO₂ könnte dann in die Atmosphäre gelangt sein. In einer Kettenreaktion hat die dadurch ausgelöste Erwärmung immer mehr Methanhydrat freigesetzt.



Methanhydrat

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Methanhydrat>

■ Ein Selbstverstärkungseffekt

Bei stark voranschreitender Erderwärmung könnte langfristig erneut Methan aus Methaneis freigesetzt werden. Mögliche Folgen sind:

- ▶ unterseeische Erdbeben und Tsunamis, wenn Kontinentalabhänge durch das Tauen instabil werden.
- ▶ eine Kettenreaktion, bei der immer mehr Methanhydrat instabil wird, was die Erde weiter erwärmen würde, es käme zu einem Selbstverstärkungseffekt mit beschleunigtem Klimawandel und katastrophalen Folgen für Mensch und Natur.

Ein solches Szenario wird als ein sehr unwahrscheinliches, jedoch nicht auszuschließendes Risiko angesehen. Methan ist nicht nur an den Abhängen der Ozeane, sondern zusammen mit Kohlenstoff auch im Dauerfrostboden arktischer Gebiete gespeichert. Falls dieser auftaut, könnten ebenfalls erhebliche Mengen an Methan und CO₂ freigesetzt werden.

Fazit:

Der Klimawandel kann ins Galoppieren kommen, wenn Kippschalter umgelegt werden, d. h., wenn kritische Temperaturschwellen überschritten werden. Dabei kann sich der Zustand eines Kipp-elements drastisch verändern, z. B. kann das arktische Meereis schmelzen, das dunklere Wasser wirkt erwärmend. Dies kann den Klimawandel verstärken, weitere Kipp-Punkte könnten überschritten werden.

Weitere Beispiele für Kipp-Elemente sind das Eis Grönlands und der Westantarktis, der Nordatlantikstrom, der Amazonas-Regenwald, die tropischen Korallenriffe, der indische Monsun, die nördlichen Nadelwälder und der Jetstream.

Manche dieser Kipp-Elemente können sich bei einer späteren Abkühlung, z. B. auf vorindustrielles Niveau, erholen, sind also reversibel. Andere, etwa die Korallenriffe oder Regenwälder können dies nicht, weil z. B. ausgestorbene Arten für immer verloren sind.