

„ 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.

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.

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 (Abb. 1). 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. Ursachen sind die thermische Ausdehnung des Ozeanwassers, das Abschmelzen der Gletscher, des Grönländischen und des Antarktischen Eisschildes sowie das Abpumpen von Grundwasser zur Bewässerung im globalen Maßstab.



Abb. 1: Venedig: Hochwasser am Markusplatz.

Die einstige Seehandelsmetropole wurde auf instabilen Sandbänken in einer Meeresbucht gegründet, was Venedig vor Angriffen vom Festland schützte. Die Stadt zieht pro Jahr geschätzte 30 Millionen Touristen an. Heute dringt doppelt so häufig Hochwasser mit einem Pegelstand von mehr als 1,1 m in die Stadt ein als noch vor 40 Jahren. Verantwortlich für das Hochwasser sind die Venezianer zum Teil selbst. Der mit der globalen Erwärmung verbundene Meeresspiegelanstieg verschärft das Problem (vgl. Station 23).
Foto: Bareis

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 (Abb. 2). Ein ungebremster Klimawandel birgt das Risiko, dass unsere Nachfahren einst die Überreste von Hamburg, Venedig, New York oder Shanghai und die aller anderen Küstenstädte nur noch mit dem U-Boot besichtigen können: Langfristig könnte bei einem globalen Temperaturanstieg von über 2°C der Meeresspiegel um 10, 20 oder 30 Meter ansteigen. Schon ein Anstieg um zwei Meter würde ohne Küstenschutz die Küstenlinie in Deutschland und den Niederlanden drastisch verändern (Abb. 3).

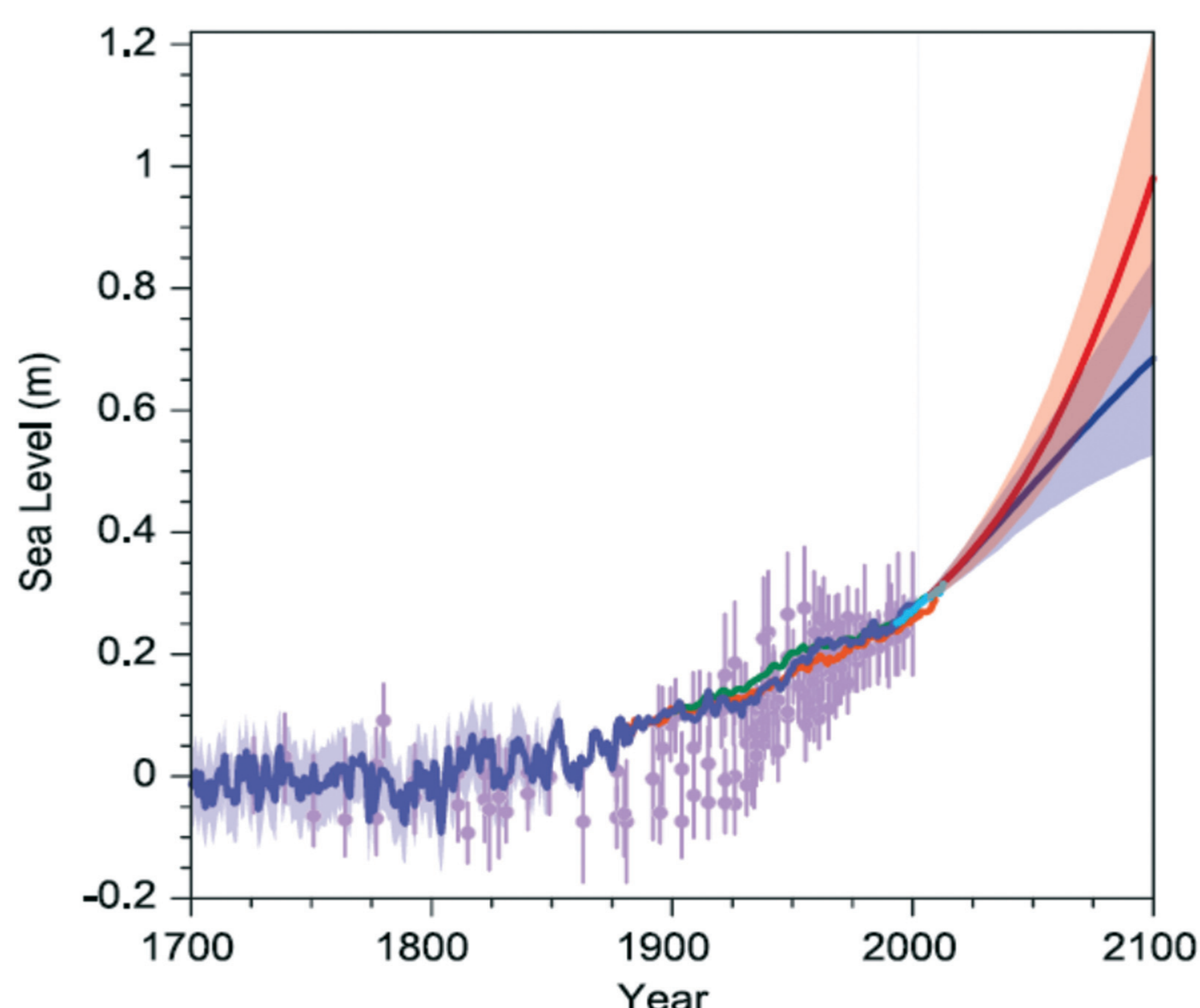


Abb. 2: Anstieg des Meeresspiegels laut IPCC-Bericht 2013. Gezeigt ist der vergangene Verlauf des Meeresspiegels seit dem Jahr 1700 aus Sedimentdaten (lila) und aus mehreren Datensätzen von Küstenpegelmessungen. Hellblau sind die Satellitendaten (ab 1993). Mögliche zukünftige Entwicklungen zeigen das Szenario RCP8.5 mit ungebremsten Emissionen (Rot) und das strikte Klimaschutzenszenario RCP2.6 (Blau).
Quelle: IPCC AR5 Abb. 13.27 <http://sollogs.spektrum.de/klimalounge/meeresspiegel-das-erwarten-die-experten/>



Abb. 3: Küstenlinie in Deutschland und den Niederlanden bei einem Meeresspiegelanstieg um zwei Meter (ohne Küstenschutz).
Quelle: <http://flood.firetree.net/> (interaktive Karte)

Fazit: Die ersten Opfer des Meeresspiegelanstiegs

Die Bewohner von fünf Staaten leben ausschließlich auf Korallenatollen, die als ringförmige, im Mittel zwei Meter das Wasser überragende Korallenriffe eine Lagune umschließen: Die Malediven, Kiribati, die Marshall-Inseln, Tokelau und Tuvalu sind Heimat von zusammen etwa einer halben Million Menschen.

Wenn der Meeresspiegel ansteigt, steigen die Flutwellen tropischer Stürme womöglich überproportional, da die Sturmintensität ebenfalls zunehmen kann (Station 11). Zusätzlich drohen Grundwasser und Böden zu versalzen, was die Möglichkeiten für den Anbau von Nahrungsmitteln dort ebenso einschränkt wie unregelmäßiger werdende Niederschläge. Erste Inseln mussten bereits evakuiert werden.

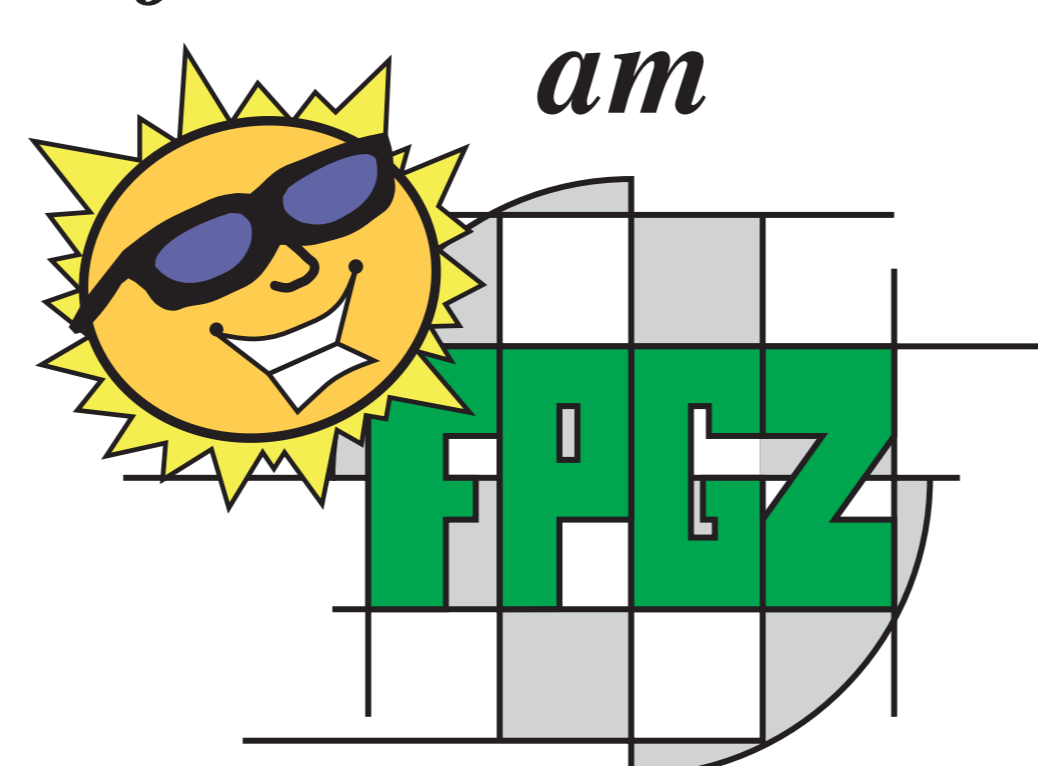
Der UN-Zivilpakt bestimmt: »In keinem Fall darf ein Volk seiner eigenen Existenzmittel aufgrund irgendwelcher Rechte beraubt werden, auf die sich andere Staaten berufen.« Wird der Pakt die noch in diesem Jahrhundert unausweichlich erscheinende Zerstörung einiger tropischer Inselwelten verhindern können?

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.

Klimawandel
zum Anfassen

www.klimaausstellung.de

Verein für Schule und Umwelt
am



Ferdinand-Porsche-Gymnasium Zuffenhausen

„ Wir überflogen 4.000 km der unberührtesten Teile des Great Barrier Reef und haben nur vier intakte Korallenriffe gesehen, es gab nur vier Riffe, die keine Korallenbleiche aufwiesen.“

Meeresbiologe Terry Hughes, James-Cook-University in Townsville, Australien



Abb. 1: Steinkorallen im Great Barrier Reef.

https://de.wikipedia.org/wiki/Steinkorallen#/media/File:Coral_Outcrop_Flynn_Reef.jpg



Abb. 2: Hirnkoralle

https://de.wikipedia.org/wiki/Steinkorallen#/media/File:Brain_coral.jpg

Korallenriffe werden ihrer Artenvielfalt wegen als »Regenwälder der Meere« bezeichnet (Abb. 1 und 2). 500 Millionen Menschen weltweit sind auf Korallenriffe angewiesen. Diese schützen Küsten als natürliche Wellenbrecher, sind die Wiege vieler Fischarten, ermöglichen Fischfang und ziehen Touristen an. Warmwasser-Korallenriffe kommen im Tropengürtel um den Äquator herum vor (Abb. 3).

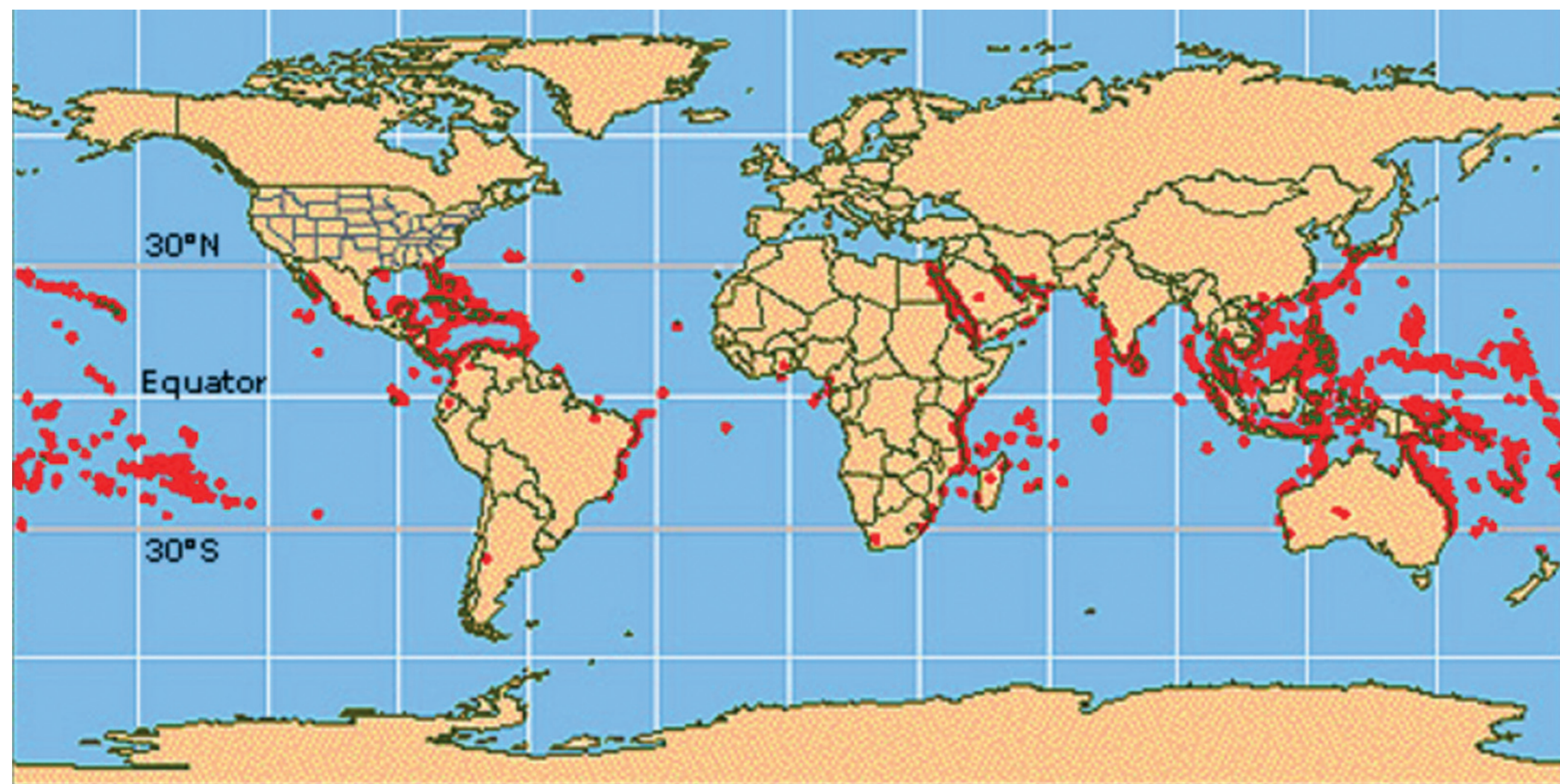


Abb. 3: Vorkommen riffbildender Korallen.

Quelle: NOAA https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/58/Reef_building_corals.jpg

Das größte Korallenriff der Erde, das Great Barrier Reef, liegt vor der Nordostküste Australiens und ist 2300 km lang (Abb. 4). Schon in den Jahren von 1985 bis 2012 hat sich dort die Korallenbedeckung halbiert, in vielen anderen Riffen sieht die Lage kaum besser aus.

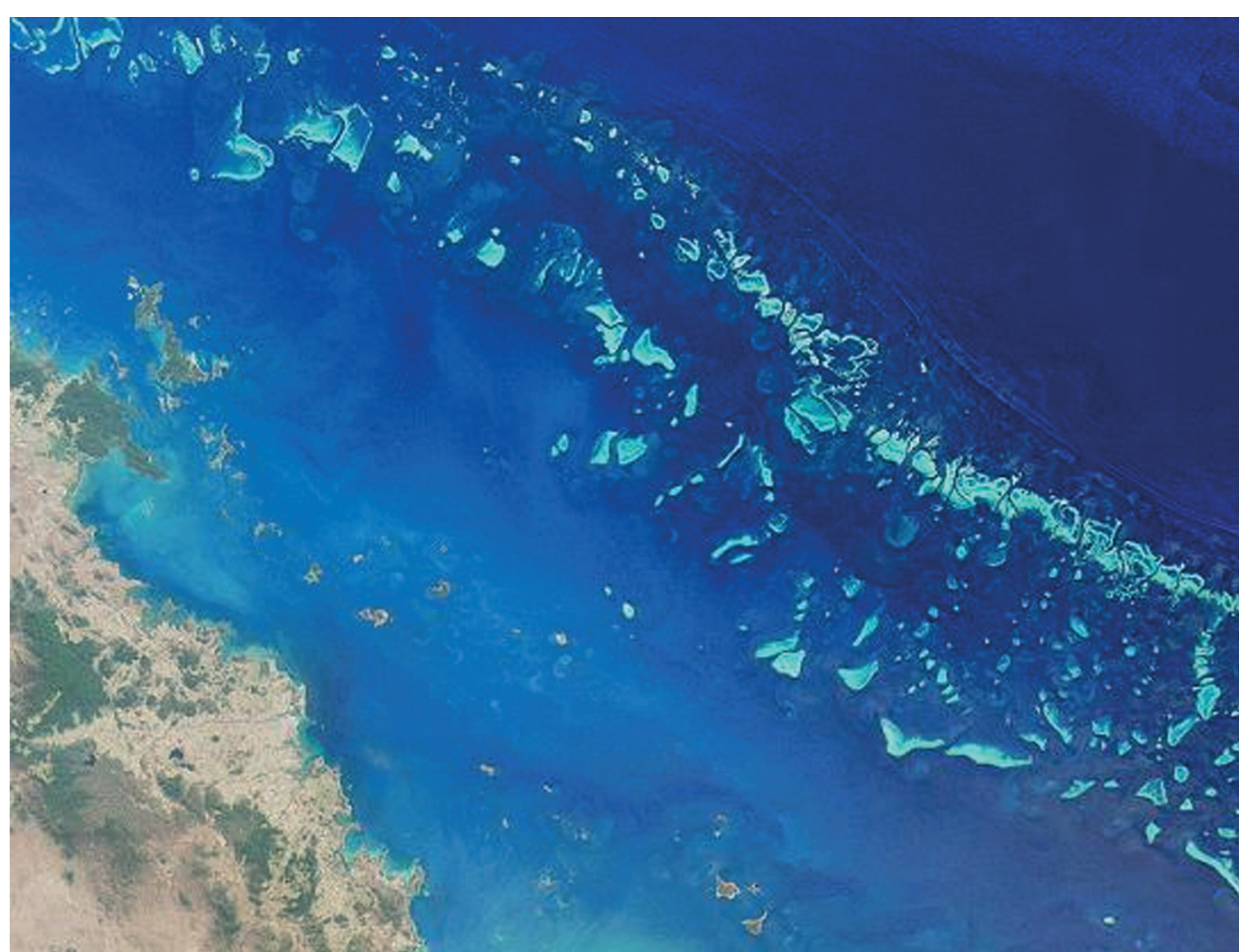


Abb. 4: Satellitenfoto eines Teils des Great Barrier Reef östlich der Stadt Mackay im Bundesstaat Queensland. Der Bildausschnitt umfasst ca. 200 km x 200 km. Aufnahme datum: 26.08.2000.

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=163272>

Der Schwund an Korallen hat mehrere Ursachen. In den letzten Jahren häufiger auftretende heftige tropische Wirbelstürme zertrümmern durch starken Wellengang die Riffe (Station 11). Der Nähr- und Schwebstoffeintrag durch die Landwirtschaft lässt den Dornenkronenseestern gedeihen, der massenhaft Korallen verschlingt. Auch Dynamit- und Zyanidfischerei zerstören Korallen. Die wichtigste Ursache dürften inzwischen die steigenden Meerestemperaturen sein. In den vor Ort besonders heißen Jahren 1998, 2002 und verstärkt 2016 und 2017 kam es großflächig zur Korallenbleiche (Abb. 6). Im nördlichen Teil des Great Barrier Reef waren 2017 bereits vier Fünftel der Korallenriffe schwerwiegend von diesem Prozess betroffen, der eng mit der Lebensweise der Korallen zusammenhängt:

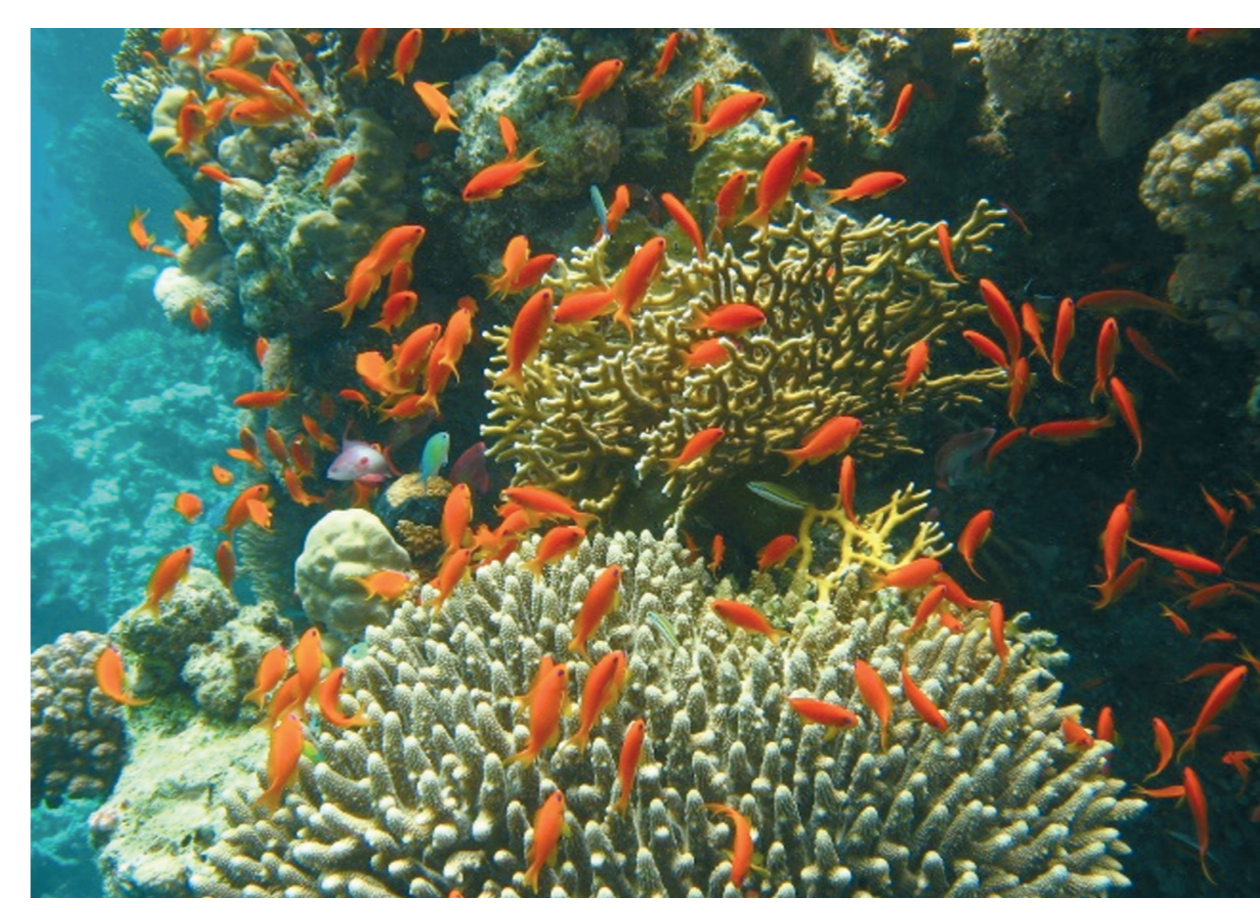


Abb. 5: Gesunde Korallen

https://de.wikipedia.org/wiki/Korallenbleiche#/media/File:Port_Ghalib_march_2006-0107.jpg



Abb. 6: Abgestorbene Korallen

<https://de.wikipedia.org/wiki/Korallenbleiche#/media/File:Coral-reef-bioerosion.jpg>

Die symbiotische Lebensweise der Korallen

Korallen sind Tiere, winzig kleine Polypen, die in einer Kolonie auf Kalk leben. Den Kalk scheiden sie ständig aus, wodurch sie zu großen Riffen heranwachsen können. Die Polypen nehmen einzellige Algen in ihre Zellen auf und bilden mit diesen eine Symbiose, also eine Lebensgemeinschaft zu beiderseitigem Nutzen: Die Polypen schützen die Algen vor schädlicher UV-Strahlung und liefern ihnen die Nährstoffe Stickstoff und Phosphat. Die Alge wandelt für die Koralle die Energie des Sonnenlichts in chemische Energie um (Photosynthese) und kann so aus CO₂ energiereiche Stoffe herstellen. Algen verleihen den Korallen ihre bunten Farben.

Wie wirkt der Klimawandel auf die Korallen?

Erwärmt sich das Wasser auch nur ein paar Wochen lang um ein bis drei Grad, beginnen die Algen im Innern der Polypen Giftstoffe zu produzieren. Daraufhin werden sie von den Korallen abgestoßen. Die Algen sterben und die Korallen verlieren ihre leuchtenden Farben, es kommt zur Korallenbleiche. Kühlt das Wasser nicht binnen weniger Wochen ab, sodass neue Algen aufgenommen werden können, sterben auch mehr und mehr Korallen ab. Um weltweit mehr als zehn Prozent aller Korallenriffe zu erhalten, müsste die globale Erwärmung auf weniger als 1,5 Grad gegenüber vorindustriellen Zeiten begrenzt werden.

CO₂-Emissionen lassen die Weltmeere versauern

Gefahr droht auch durch die Übersäuerung der Meere, die knapp ein Drittel des bisher von Menschen ausgestoßenen CO₂ aufgenommen haben. Im Wasser liegt CO₂ teilweise in Form von Kohlensäure vor. Im globalen Mittel ist der pH-Wert der Ozeane seit Beginn der Industrialisierung um 0,1 gesunken, was 30 Prozent mehr Säure bedeutet. Bis 2100 könnte der pH-Wert ohne Klimaschutz um weitere 0,3 Einheiten absinken. Dies würde die Bildung von Kalkschalen bei Korallen, Schnecken, Muscheln und bestimmten Planktonarten z. T. schwerwiegend beeinträchtigen. In den vergangenen 300 Millionen Jahren ist es noch nie zu einer derart schnellen Versauerung der Weltmeere gekommen.

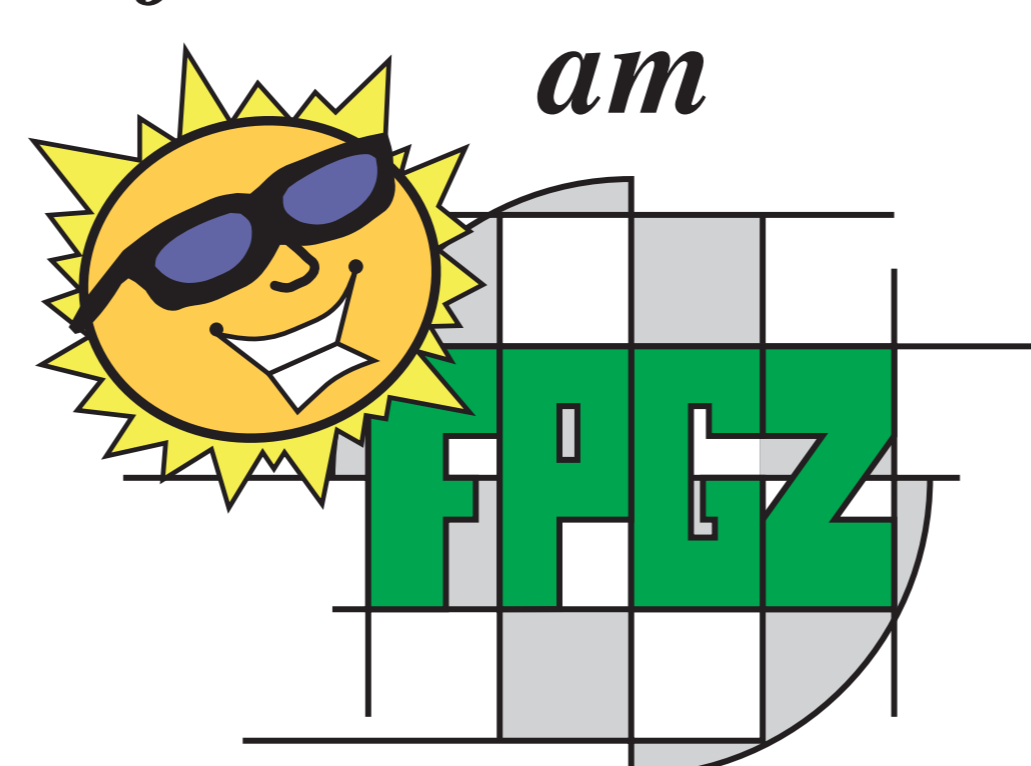
Fazit:

Die Erwärmung und Verschmutzung der Weltmeere hat schon vielerorts Korallen ausbleichen lassen. Ein weiteres Problem der Weltmeere stellt ihre drohende Übersäuerung dar. In beiden Fällen werden ganze Ökosysteme und die Menschen davon betroffen sein.

Klimawandel
zum Anfassen

www.klimaausstellung.de

Verein für Schule und Umwelt
am



Ferdinand-Porsche-Gymnasium Zuffenhausen

„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



Zum Kuckuck mit dem Klimawandel!

Der Kuckuck, der wie kaum ein anderer Vogel Eingang in Tradition, Liedgut und sogar die Sprache Deutschlands gefunden hat, ist nur noch selten mit seinem charakteristischen Ruf zu vernehmen. Bekannt ist der über 30 cm große Waldvogel dafür, dass er seine Eier anderen Vögeln unterschiebt und sich so der Aufzucht seines Nachwuchses entledigt (Abb. 1). Intensive Bewirtschaftung von Wäldern und Feldern sowie der Bau von Straßen und Siedlungen schränken seinen Lebensraum und den der Wirtstiere ein.



Abb. 1: Der junge Kuckuck wird oft deutlich größer als seine Pflegeeltern, hier ein Teichrohrsänger.
Quelle: Per Harald Olsen - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1887345>

Doch der Kuckuck könnte auch zum Opfer des Klimawandels werden: Während viele Zugvögel ihre Reisepläne an den vorgezogenen Frühling anpassen, orientiert sich der Kuckuck an der Tag- und Nachtlänge. Wenn er im Sommerquartier eintrifft, brüten die anderen Vögel bereits und lassen sich nicht mehr so leicht ein Kuckucksei unterschieben.

Andere Experten widersprechen: Der Kuckuck sei meistens schon da, wenn die Wirtsvögel ihr Nest bauen. Ansonsten räume er das Gelege aus, so dass die Wirtin erneut Eier legen müsse. Das Beispiel zeigt: Über manche ökologischen Folgen des Klimawandels kann man durchaus streiten.

Wälder im Klimawandel-Stress



Abb. 2: Abgestorbene Fichte im Schurwald östlich von Stuttgart.
Foto: Bareis

Längere Vegetationsperioden und die erhöhte CO₂-Konzentration begünstigen das Wachstum der Wälder in Mitteleuropa. Milde Winter können jedoch die Gefahr von Schäden durch Spätfröste erhöhen. Witterungsextreme, vor allem Dürren, Hitze und Stürme, schwächen und schädigen Bäume (Abb. 2). Wenn diese Wassermangel leiden, kommt ihre Harzproduktion ins Stocken. Die Bäume werden dann z. B. für Borkenkäfer anfälliger. Besonders gefährdet ist die Fichte, der »Brotbaum« der heimischen Forstwirtschaft und begehrtes Bauholz (Abb. 2). Ein Forstwissenschaftler: »Die Wärme macht die Fichte schwach und den Käfer stark.«

Der Klimawandel beeinflusst Arten und Ökosysteme

Kein Phänomen im Bereich von Lebewesen ist so eindeutig dem Klimawandel zuzuordnen wie Veränderungen beim **Lebensrhythmus** (Abb. 3), etwa ein früherer Blühbeginn bei Pflanzen. Der Klimawandel kann auch die **Verbreitungsgebiete** von Arten verschieben, vergrößern oder verkleinern. Von 1990 bis 2008 haben sich in Europa Bereiche mit gleicher Temperatur um rund 250 km nach Norden verschoben. Schmetterlinge verlegten in derselben Zeit ihre Gebiete nur um durchschnittlich 114 km nach Norden.

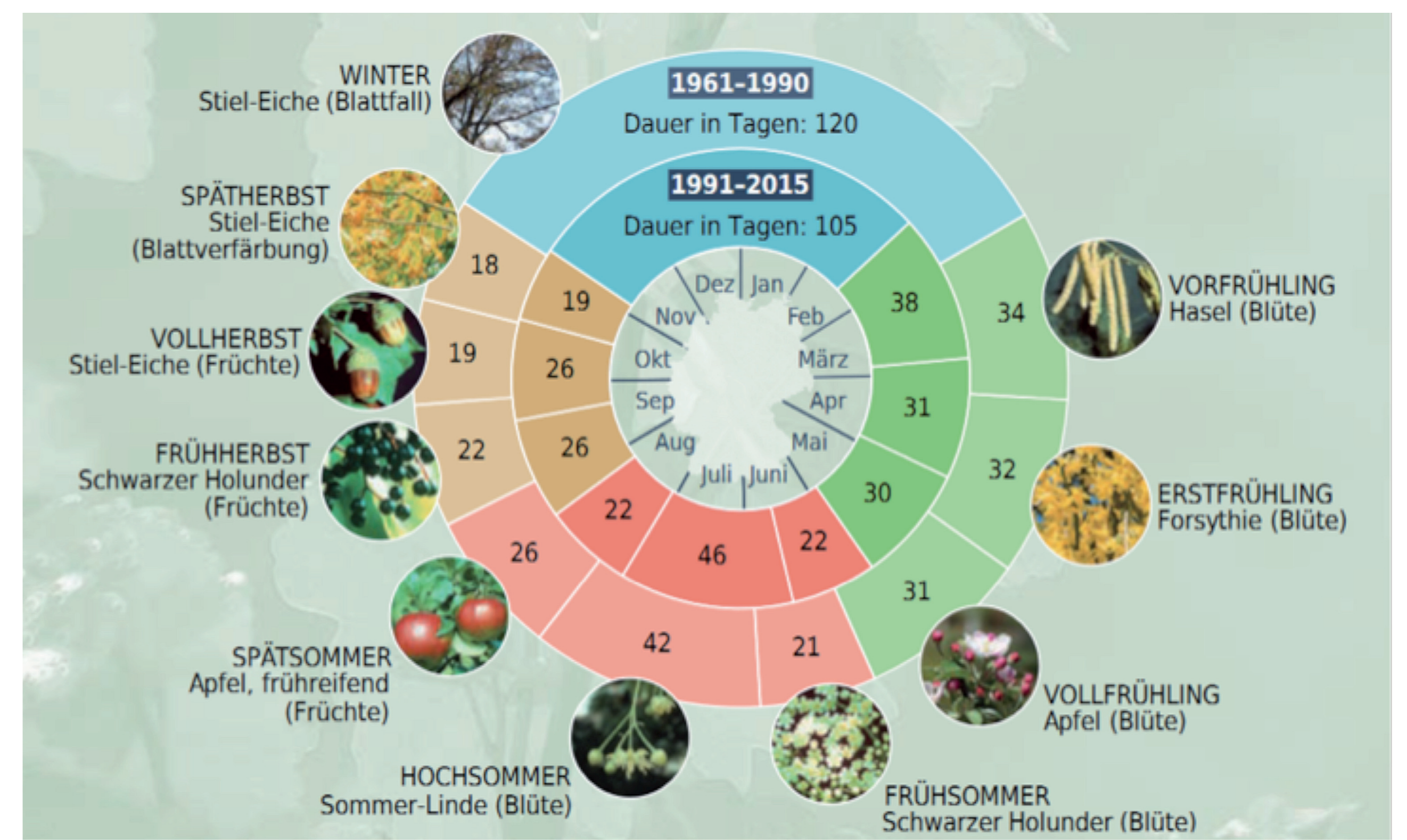


Abb. 3: Die verschiedenen Entwicklungsphasen der Pflanzen sind phänologischen Jahreszeiten zugeordnet. Beim Vergleich der Zeiträume 1961–1990 und 1991–2015 wird die Verschiebung der phänologischen Jahreszeiten deutlich.
http://www.dwd.de/DE/leistungen/nationaleklimaexport/download_report_2016.pdf?__blob=publicationFile&w=4 Creative Common: DWD (2016); Nationaler Klimareport 2016, 2. korrigierte Auflage, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland, 44 Seiten, S. 30.

Auch **Beziehungen zwischen Arten** kann der Klimawandel aus dem Gleichgewicht bringen, z. B. bei der Bestäubung. **Werden Bestäuber und Pflanze** weiterhin zur selben Zeit am selben Ort sein, oder werden sie sich in **Lebensrhythmus** oder **Verbreitungsgebiet** auseinanderentwickeln, weil sie unterschiedlich anpassungsfähig oder mobil sind? Fallen Bestäuber aus, wäre mit **spürbaren Ernteausfällen** und **Artenschwund** zu rechnen.



Abb. 4: Der Klimawandel führt auch zu früherer Apfelblüte.
Foto: Bareis

Fazit:

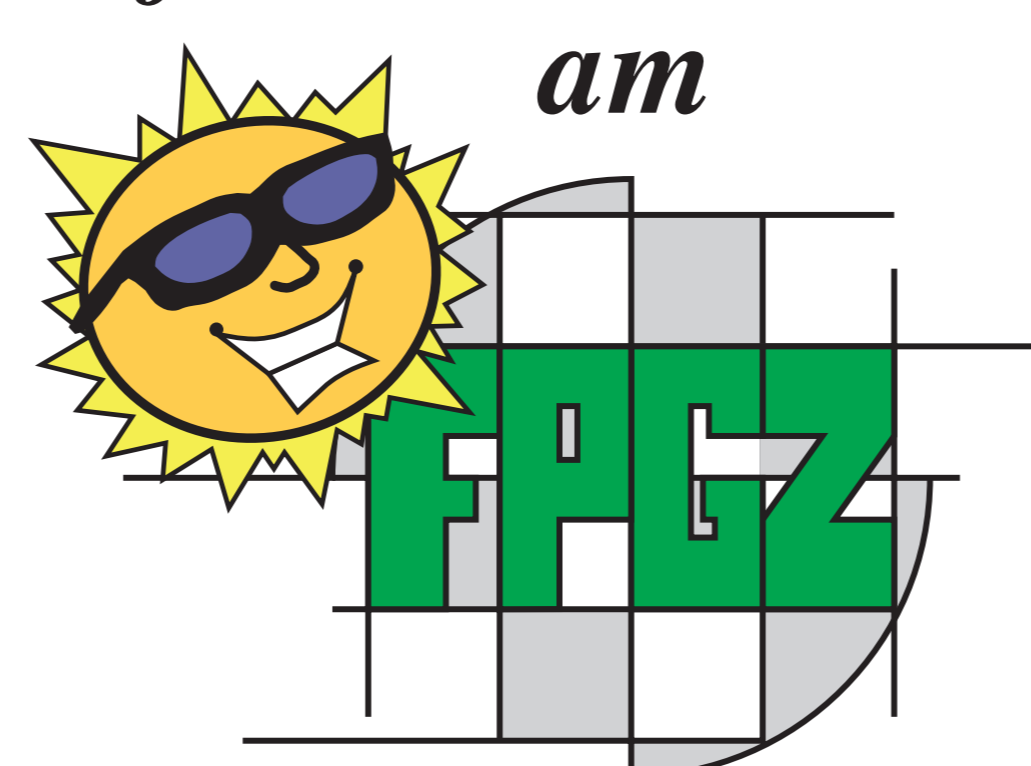
Der Kuckuck und die heimischen Wälder stehen hier stellvertretend für Tausende von erforschten Beispielen, wie der Klimawandel Arten und Ökosysteme beeinflussen kann und für Zigtausende bisher unerforschte. Da Lebewesen Zeit zur Anpassung brauchen, ist beim Klimawandel die Geschwindigkeit genauso wichtig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

Klimawandel
zum Anfassen



www.klimaausstellung.de

Verein für Schule und Umwelt
am



Ferdinand-Porsche-Gymnasium Zuffenhausen

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 (Abb. 1 – 4). 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 Schutthalde 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.



Abb. 1: Beifußblättriges Traubenkraut (*Ambrosia artemisiifolia*)

Von Brunga - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7761086>



Abb. 2: Die Ambrosia breitet sich oft entlang von Bahndämmen aus.

Von StefanJefnaer - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=38032997>



Abb. 3: Korb mit männlichen Blüten, die Pollen enthalten.

Von StefanJefnaer - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=51215685>

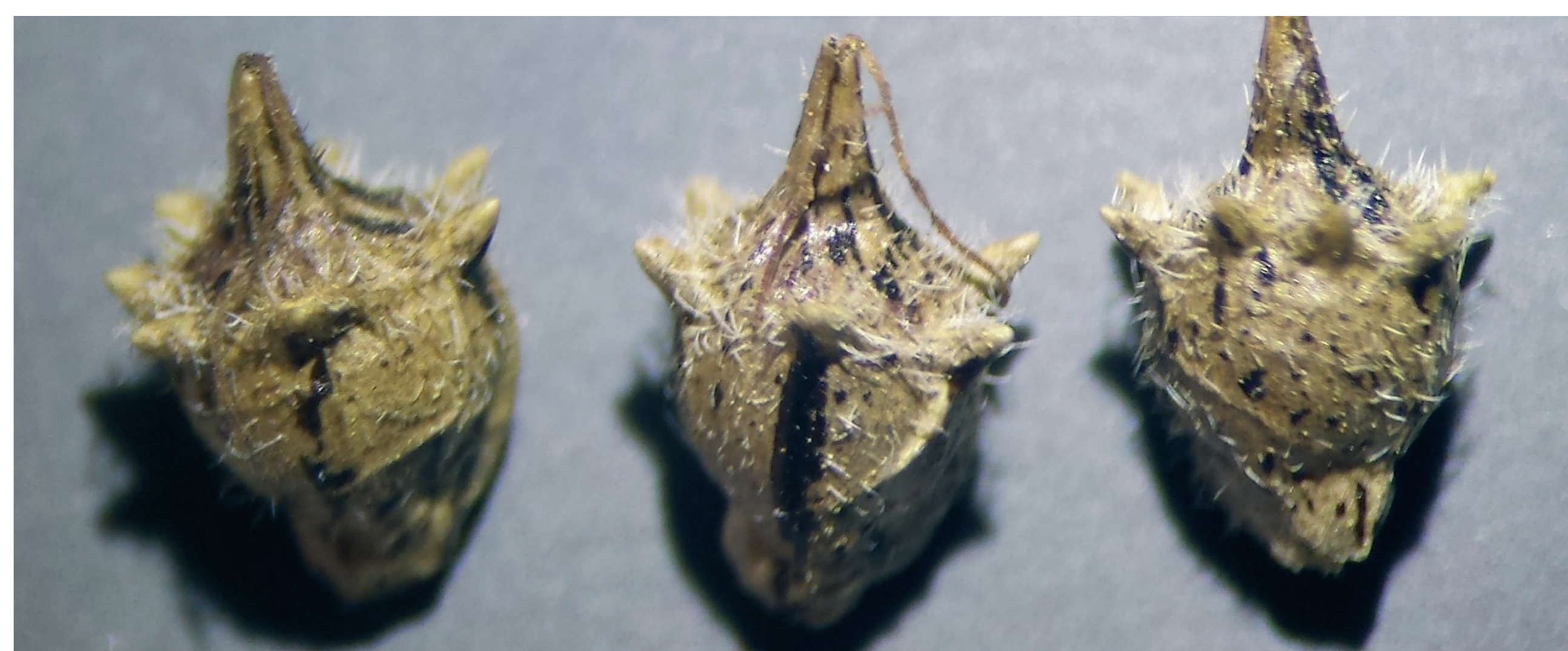


Abb. 4: Reife Fruchtkörbe der Ambrosia, wie sie auch in Vogelfutter vorzufinden sind.

Von StefanJefnaer - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=51405104>

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 (Abb. 5). 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. Bei einem gut ausgebauten Gesundheitssystem sollte das selten der Fall sein.



Abb. 5: Die auffällig schwarz-weiß gemusterte Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*)

Von James Gathany, CDC - Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3670049>

■ Hitzewellen

Im Rekordsommer 2003 sind in Europa zusätzliche 70.000 Menschen gestorben, was die größte Naturkatastrophe in Mitteleuropa seit Menschengedenken darstellt. Allein in Baden-Württemberg waren über 2.000 zusätzliche Tote zu beklagen (Abb. 6). Seit 1880 hat sich in Westeuropa die Dauer von Hitzewellen verdreifacht (Station 7 und 9).

Fazit: Wie Klimawandel die Gesundheit beeinflusst

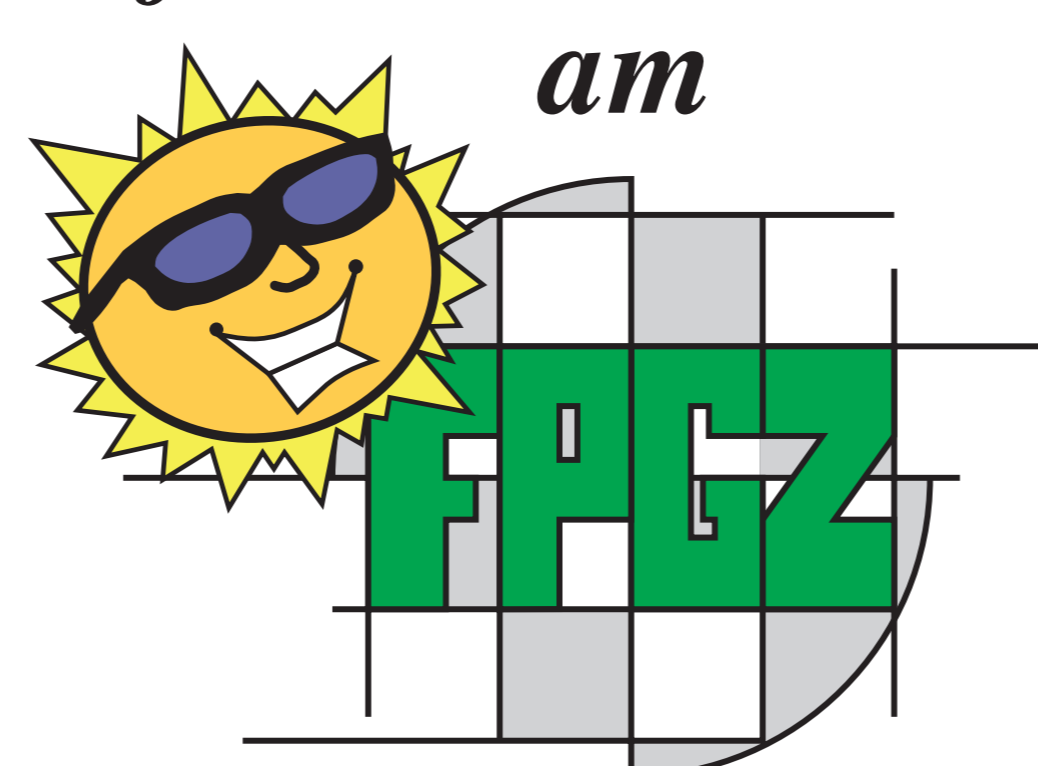
Der Klimawandel beeinflusst die Gesundheit auf direkten und auf indirekten Wegen: Häufigere und heftigere Hitzewellen, Dürren, Überflutungen und Stürme können unmittelbar Leib und Leben der Menschen gefährden. Zudem kann der Klimawandel bei Dürren und Fluten die Wasserqualität verschlechtern, bei Waldbränden 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 (z. B. gegen die Pollen des Beifußblättrigen Traubenkrauts) und psychische Erkrankungen. Gesundheit hängt jedoch von vielen Faktoren, u. a. von der Qualität des Gesundheitssystems, ab. Dies erschwert konkrete Aussagen zu den gesundheitlichen Folgen des Klimawandels. Schätzungen zufolge sterben schon heute jährlich mehr als 300.000 Menschen an den Folgen des Klimawandels, in 20 Jahren womöglich doppelt so viele. Weit größer ist die Zahl der Todesfälle, die auf Luftverschmutzung infolge der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas zurückzuführen sind, im Jahr 2012 laut WHO weltweit etwa sieben Millionen Menschen – ein weiteres Argument für Klimaschutz.

Klimawandel
zum Anfassen



www.klimaausstellung.de

Verein für Schule und Umwelt
am



Ferdinand-Porsche-Gymnasium Zuffenhausen

„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 CO_2 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 (Abb. 1 und 2). 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 CO_2 könnte dann in die Atmosphäre gelangt sein. In einer Kettenreaktion hat die dadurch ausgelöste Erwärmung immer mehr Methanhydrat freigesetzt.

■ Treibhausgase in ungeahnten Mengen

Methanhydrat ist auch heute in ungeheuren Mengen an den Ozeanabhängen vorhanden. Insgesamt steckt darin vielleicht **doppelt so viel Kohlenstoff wie in allen anderen fossilen Brennstoffen zusammen** und 15mal so viel wie derzeit in Form von CO_2 in der Atmosphäre vorhanden ist (Abb. 3).

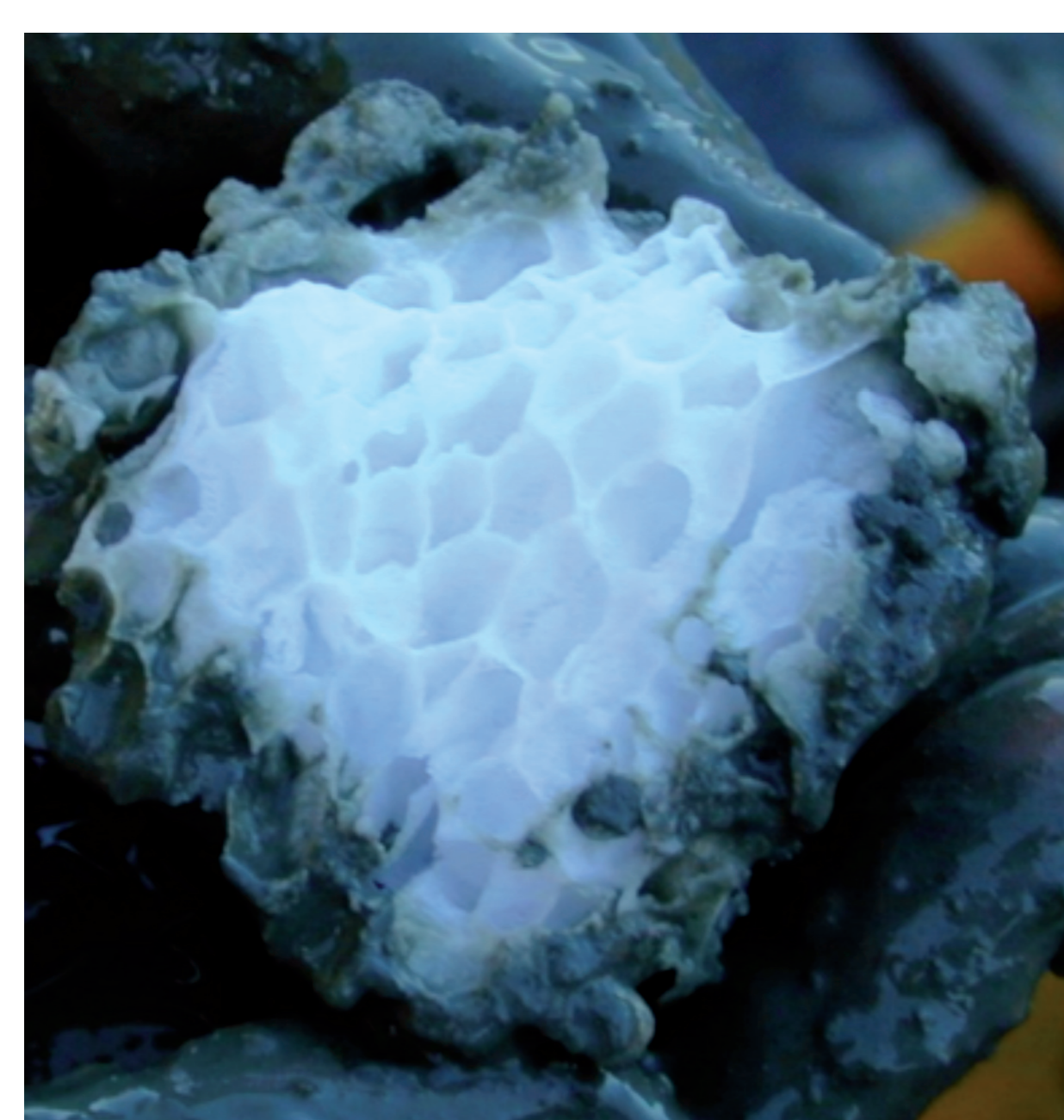


Abb. 1: Methaneis

Quelle: Wusel007 - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8277125>

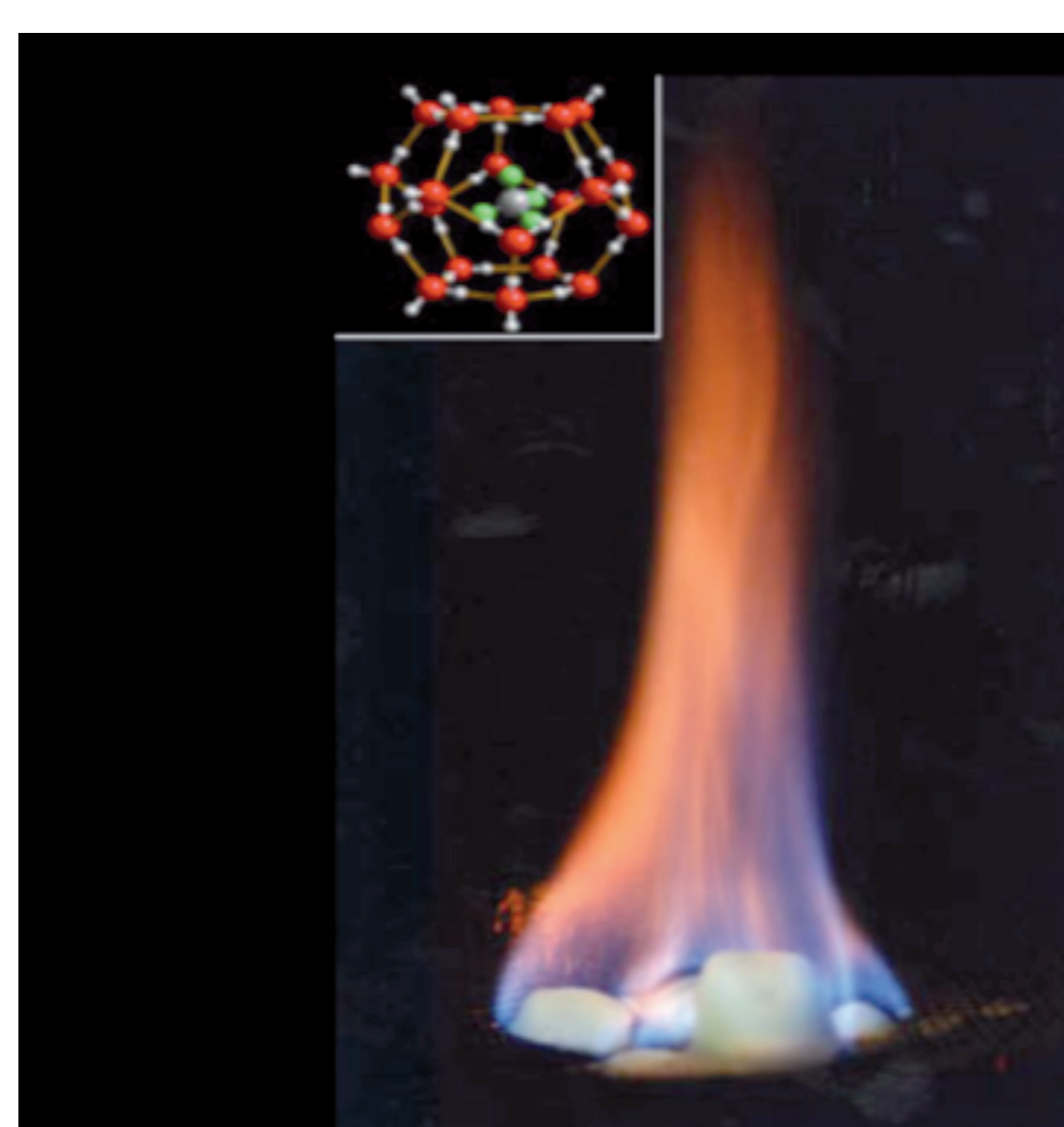


Abb. 2: Brennendes Methaneis, oben: Gitterstruktur des Methaneises

Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1410278>

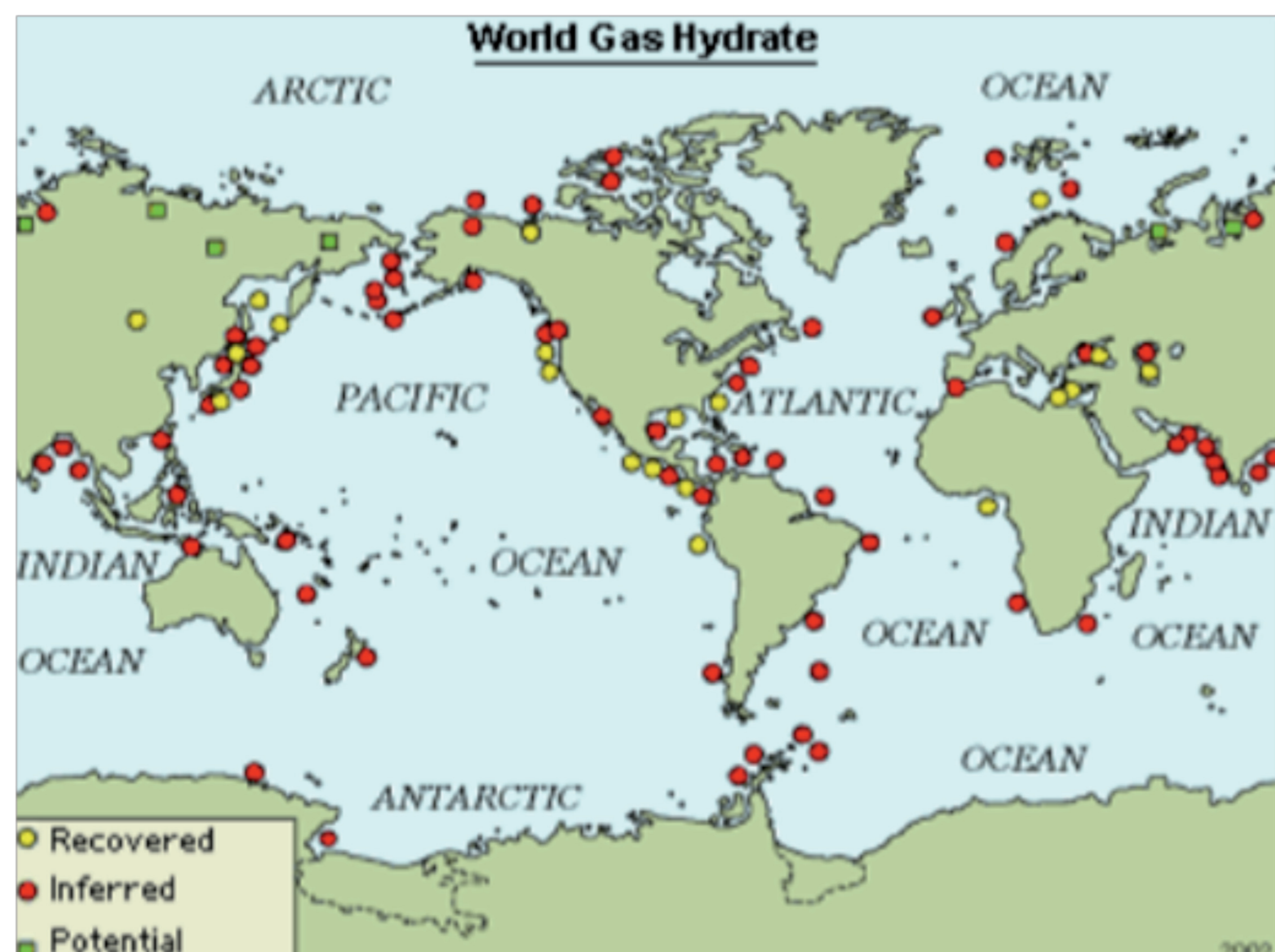


Abb. 3: Bekannte, indirekt nachgewiesene und mögliche Methaneisvorkommen.

Von U.S. Geological Survey, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1933897>

■ Ein Selbstverstärkungseffekt

Bei stark voranschreitender Erderwärmung könnte langfristig erneut Methan aus Methaneis freigesetzt werden (Abb. 4). 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 CO_2 freigesetzt werden.

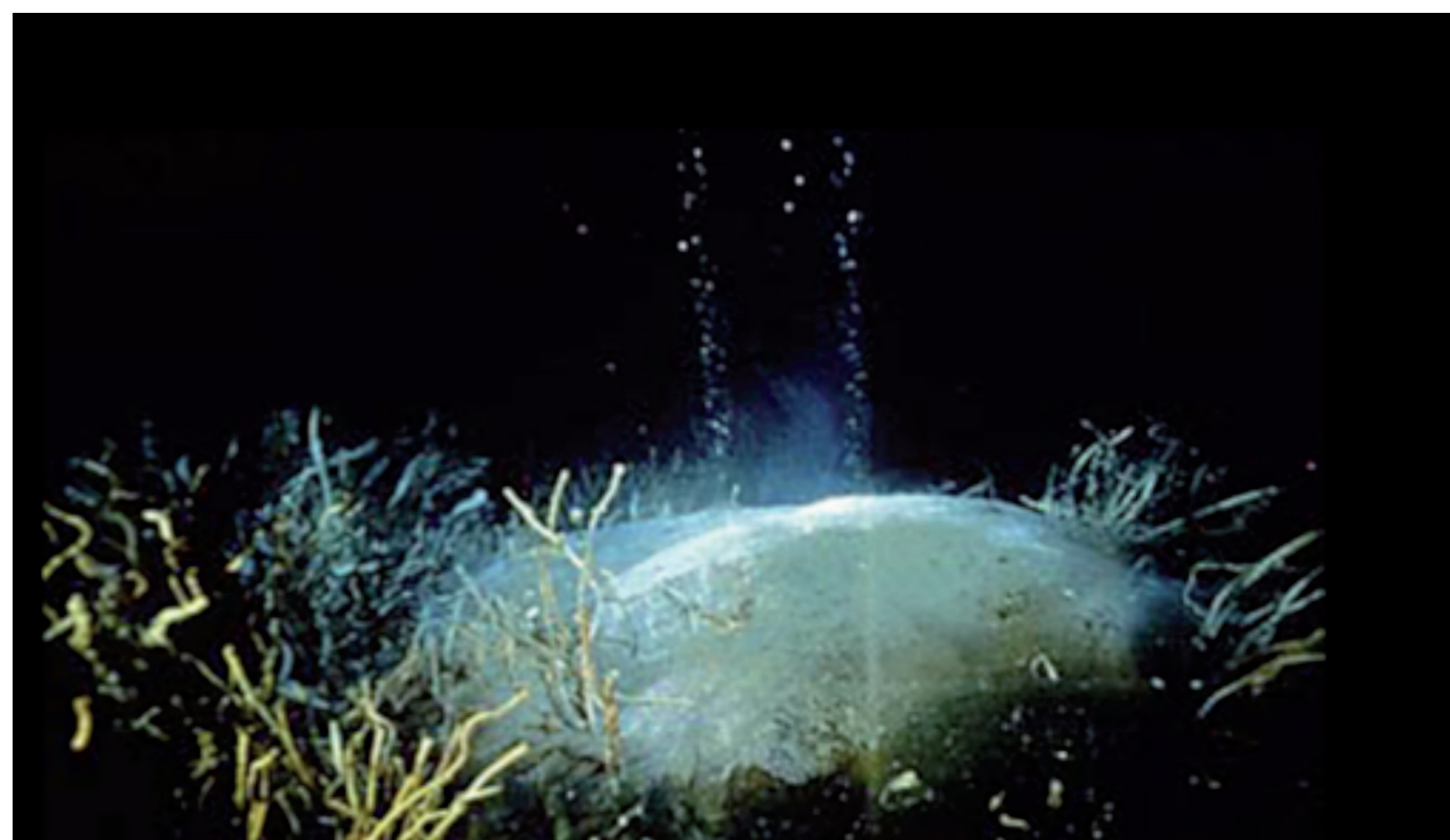


Abb. 4: Aus einem Brocken Methaneis tritt Methan aus.

Von Unbekannt - Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6213878>

Fazit:

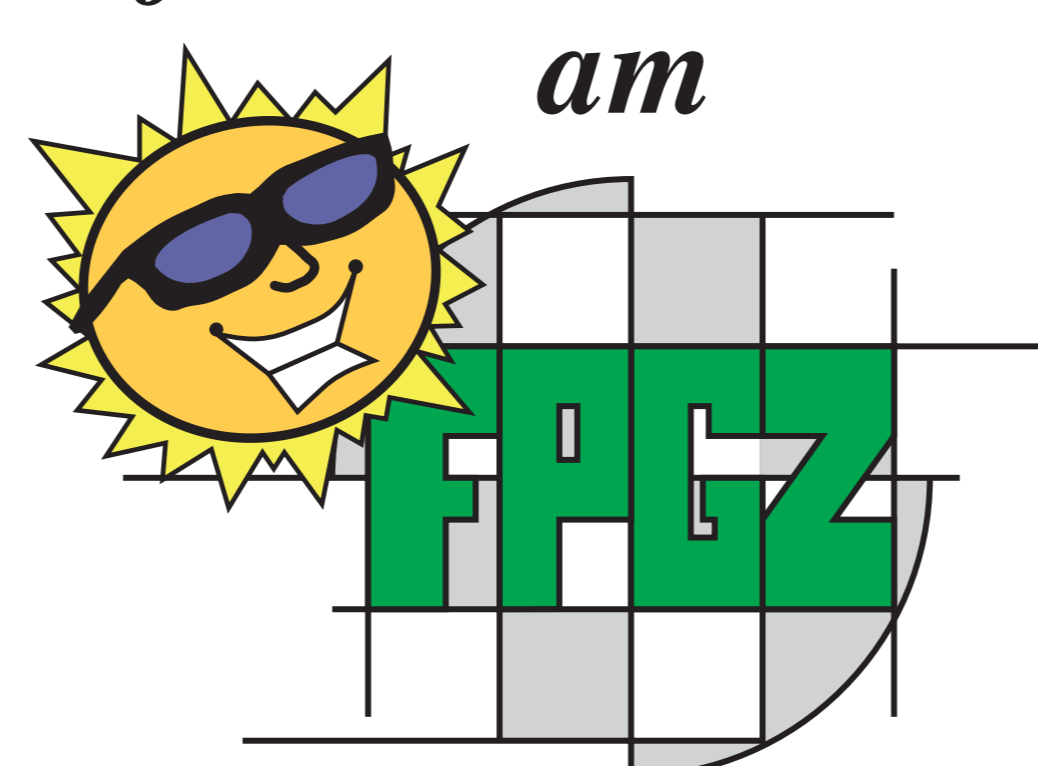
Der Klimawandel kann ins Galoppieren kommen, wenn **Kippschalter** umgelegt werden, d. h., wenn **kritische Temperaturschwellen** überschritten werden. Dabei kann sich der Zustand eines Kippelements **drastisch verändern**, z. B. kann das arktische Meereis schmelzen, das dunklere Wasser wirkt erwärmend. Dies kann den Klimawandel verstärken, weitere Kipp-Punkte könnten überschritten werden. Es besteht ein **Restrisiko**, dass bedingt durch den Klimawandel riesige Mengen an Methanhydraten aus den Ozeanen instabil werden und Methan freisetzen.

Weitere Beispiele für Kipp-Elemente sind das Eis Grönlands, das Eis der Westantarktis (die kritische Temperaturschwelle für sein Schwinden könnte bereits überschritten sein), der Nordatlantikstrom, der Amazonas-Regenwald, die tropischen Korallenriffe (die kritische Temperaturschwelle dürfte bald erreicht sein), 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. Solche Kippelemente nennt man **irreversibel**.

Klimawandel
zum Anfassen

www.klimaausstellung.de

Verein für Schule und Umwelt
am



Ferdinand-Porsche-Gymnasium Zuffenhausen