

Gesundheitsrisiken durch Klimawandel im Überblick

LOZÁN, J. L., H. GRASSL, G. JENDRIZKY, L. KARBE, A. MAIER & K. REISE

Die Weltgesundheitsorganisation WHO definiert den Begriff Gesundheit mit »Health is a state of complete physical, mental and social well being and not merely the absence of disease or infirmity«. Dieses sehr umfassende und ambitiöse Verständnis von Gesundheit lässt sich gleichermaßen auf Tiere und Pflanzen anwenden und auch auf biosozialologische Systeme (Ecosystem Health). Entsprechend wird es bei der Diskussion der möglichen und bereits eingetretenen Folgen des Klimawandels nicht nur um Krankheiten im engeren Sinne gehen, sondern auch um Beeinträchtigungen des Wohlbefindens und der Leistungsfähigkeit von Organismen wie auch um Strukturen und Funktionen in ökologischen und sozioökonomischen Systemen.

Die globale Erwärmung nimmt dramatisch zu

Nach dem 4. IPCC-Bericht 2007 (AR4) hat sich die mittlere Temperatur im Zeitraum 1906–2005 um 0,74 °C erhöht. Der Trend war in der zweiten Hälfte dieses Zeitraums fast doppelt so groß wie in der ersten Hälfte. Weiterhin wird seit Mitte der neunziger Jahre eine Häufung sehr warmer Jahre beobachtet, die zu den wärmsten seit Beginn regulärer Temperaturmessungen zählen. Eine Ausnahme war 1996, als aufgrund eines extremen »La Niña«-Ereignisses im Pazifik eine Abkühlung erfolgte. Die wärmsten Jahre waren bis jetzt 1998 und 2005, wobei die hohe Temperatur im Jahre 1998 wiederum durch ein extremes »El-Niño«-Ereignis im Pazifik (1997/98) verstärkt wurde.

Die globale Erwärmung erfolgt nicht überall gleich und nicht gleichmäßig über das ganze Jahr. In den vergangenen 2 Jahrzehnten stieg die Lufttemperatur über Land um ca. 0,27 °C/Jahrzehnt, während sich die Lufttemperatur über den Meeresflächen nur um 0,13 °C/Jahrzehnt erwärmte, weil sich die Wärme im Meer über ein größeres Volumen verteilt. Besonders ausgeprägt ist die Erwärmung im Winter und Frühling in nördlichen Breiten, speziell in der Arktis. Die Folgen sind eine Abnahme der Schneebedeckung seit 1980 und der arktischen Meereisausdehnung um 2,7%/Jahrzehnt. In 2007 war die Nordwestpassage durch das Kanadische Archipel erstmals für den Schiffsverkehr offen.

Besonders auffällig ist der Rückzug der meisten

Gebirgsgletscher auf der Erde, der im Zeitraum 1991–2003 zu einem globalen Anstieg des Meeresspiegels um etwa 1 cm geführt hat. Das grönländische Inlandeis (Abb. 1) hat bei erhöhter Akkumulation im Inneren einen stärkeren Massenverlust erfahren als bisher angenommen. Neben einer verstärkten Oberflächenschmelze in den Küstenregionen nahm dabei vermutlich auch die Eisdynamik zu, mit einem zunehmenden Fließen des Eises auf dem Untergrund.

Die globale Erwärmung hat auch zu einer bedeutenden Änderung von Temperaturextremen geführt. Beim Niederschlag gibt es bei einer generellen Zunahme der Dynamik des Wasserkreislaufs keinen einheitlichen Trend. In einigen Regionen haben die Niederschläge signifikant zugenommen (östliche Teile der USA, Teile von Argentinien, Westaustralien, nördliche Teile von Eurasien), in anderen signifikant abgenommen (Mittelmeergebiet, südliches Afrika sowie Teile von Südasien) (Abb. 2). In vielen Gebieten kam es selbst dort zur Zunahme extremer Niederschlagsereignisse, wo der mittlere Niederschlag abgenommen hat. Die Zahl intensiver atlantischer Hurrikane hat zugenommen und korreliert mit ansteigender Meeresoberflächentemperatur.

In besonderem Maße sind die Permafrostgebiete, d.h. die Gebiete mit dauernd gefrorenen Böden, betroffen – sowohl in den Gebirgsregionen als auch in hohen geographischen Breiten. Ein Auftauen der Böden hat Konsequenzen für den Wasserhaushalt, für den Kohlenstoffhaushalt, für die Stabilität des Untergrundes (Abb. 3), es kann die Infrastruktur der betroffenen Gebiete massiv schädigen. Seit 1950 hat sich die Permafrostfläche in den Monaten mit der maximalen Ausdehnung auf der Nordhalbkugel um 7% verringert.

Voraussagen für das 21. Jahrhundert

Für die Projektion der zukünftigen Klimaänderungen werden verschiedene Emissionsszenarien ohne Klimaschutzmaßnahmen verwendet. Danach ist mit einer globalen Erwärmung zwischen 1,8 und 4,0 °C bis Ende des 21. Jahrhunderts zu rechnen. Höhere Minimumtemperaturen, intensivere und längere Hitzewellen, mehr Tage mit sehr starken Niederschlägen sowie eine starke Abnahme der Frosttage sind in Mitteleuropa zu erwarten.

Höhere Niederschlagsmengen sind großräumig vor allem in Äquatornähe (Tropen) und in hohen geo-

graphischen Breiten und niedrigere Niederschlagsmengen vor allem in ariden und semi-ariden Gebieten (Mittelmeerraum, Australien, Südafrika u.a.) zu erwarten.

Gefahren für die Gesundheit des Menschen

Bei den Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen handelt es sich um ein hoch komplexes Geschehen mit (1) direkten und (2) indirekten Ursache-Wirkungsbeziehungen.

Der Mensch befindet sich permanent in einer Auseinandersetzung mit seinen klimatischen Umweltbedingungen. Er reagiert mit Anpassungsreaktionen auf diese Reize, die den Organismus überfordern können. Daraus ergibt sich ein Zusammenhang zwischen diesen Reizen und der Gesundheit und Leistungsfähigkeit sowie dem Wohlbefinden des Menschen. Die Beziehungen sind vielschichtig. Gesundheitseffekte gehen in der Regel nicht von einem einzigen Faktor aus. Bei Hochdruckwetterlagen z.B. können im Sommer Wärmebelastung, hohe UV-Strahlungsintensitäten und höhere Konzentrationen von Ozon zusammen auftreten.

Thermischer Stress

Im thermischen Wirkungskomplex kommt es mit zunehmender Wärme- oder Kältebelastung zu erhöhten Anforderungen an das Herz-Kreislaufsystem, da Blutdruck und Thermoregulation eng miteinander verbunden sind. Bei kreislaufabilen Menschen kann es infolge starker Erweiterung der Hautgefäße zum Hitzekollaps durch Blutdruckabfall kommen. Zunehmende Überhitzung beeinflusst das zentrale Nervensystem mit Verringerung der Fähigkeit zur Thermoregulation. Temperaturen im Gehirn oberhalb 41 °C führen zu Delirium, Krämpfen und Bewusstseinsschwund (Hitzschlag).

Schwere Hitzeschäden erfordern eine Therapie, durch die vor allem im Wasser- und Mineralstoffhaushalt eingetretene Störungen ausgeglichen werden müssen, da es durch diese, unabhängig von den Risiken der Überwärmung, zu schwerwiegenden und bleibenden Schäden kommen kann. Eine unsachgemäße Behandlung von hitzegeschädigten Personen kann für diese gefährlicher sein als die Hitzeexposition selbst. Bei Flüssigkeitsersatz muss stets auch Salzersatz bedacht werden. Beurteilt man die vorliegenden klinischen Daten, besteht kein Zweifel, dass vorgeschädigte sowie unter dem Einfluss von Medikamenten wie z.B. Betablockern und Diuretika stehende Personen unter dem Einfluss von Extrem-

temperaturen besonders gefährdet sind.

In Anbetracht der engen Verknüpfung des Menschen mit seinen thermischen Umweltbedingungen ist klar geworden, dass Hitzewellen z.B. in den USA und in Australien, aber auch in Europa als Hauptursache für wetterbedingte Todesfälle gelten. So dürften während des Hitzesommers 2003 in ganz Europa mehr als 50.000 Menschen der Hitze zum Opfer gefallen sein, davon über 33.000 in der extremen Hitzewelle im August. Besonders dramatisch sind Auswirkungen von Hitzewellen in dicht bebauten Großstädten, die in der Regel einen ungenügenden Luftaustausch und aufgrund der Baukörperstruktur bereits ein höheres Temperaturniveau aufweisen.

Da besonders ältere Menschen während Hitzewellen sterben, wird oft argumentiert, dass diese so geschwächt waren, dass sie auch ohne die Hitzewelle nur noch wenige Tage zu leben gehabt hätten. Dies gilt jedoch für nur maximal 20% der Fälle, was bedeutet, dass die meisten Menschen ohne die Belastung noch wesentlich länger hätten leben können. Auch Kleinkinder sind wegen der noch instabilen Thermoregulation besonders betroffen, sowie Personen aller Altersgruppen, die auf Grund von Vorerkrankungen und/oder Einnahme bestimmter Medikamente über ein reduziertes Anpassungsvermögen verfügen.

Hitzewellen haben beträchtliche Auswirkungen nicht nur für die Gesundheit des Menschen. Auch die Natur leidet darunter, da sie häufig mit Dürre, Waldbränden, Wassermangel, Verschlechterung der Qualität von Gewässern, Bodenaustrocknung u.a. verbunden sind. Dazu kommen vielfältige Folgen für die Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Lebensmittelwirtschaft und infolge des höheren Energieverbrauchs zu Kühlzwecken auch für die Energiewirtschaft. Auch der Tourismus und Möglichkeiten der Wahrnehmung sportlicher Aktivitäten werden betroffen sein. Mit diesen Auswirkungen sind erhebliche wirtschaftliche Folgen verknüpft.

Aufgrund ihrer Relevanz für die Gesundheit sind neben dem thermischen Wirkungskomplex auch Änderungen der Solarstrahlung und Luftverunreinigungen wie Ozon zu bedenken.

Mehr Allergien durch Pollen

In den meisten Ländern der Welt haben durch Pollen hervorgerufene Allergien in den letzten Jahrzehnten zugenommen. Etwa 20–30% der Bevölkerung in Deutschland sind davon betroffen. Besonders häufig tritt der allergische Heuschnupfen auf, der oft in ein allergisches Asthma Bronchiale übergeht. Der Gehalt an allergenen Pollen in der Luft nimmt im Zuge des Klimawandels immer weiter zu. Die heutige Situation ist nicht nur durch mehr so-

wie durch veränderte und neue Pollen charakterisiert. Die Zunahme von Allergien lässt sich ebenso auf einen immer früheren Beginn der Pollensaison, eine längere Pollenflugperiode sowie auf höhere Pollenkonzentrationen zurückführen.

Die Einzug neuer Arten wird durch Erwärmung begünstigt. Ein Beispiel ist das stark allergene Beifußblättrige Traubenkraut (*Ambrosia artemisiifolia*). Ambrosia hat sich in einigen osteuropäischen Ländern seit dem zweiten Weltkrieg epidemisch ausgebreitet. Seit 1990 ist es auch in Oberitalien, in der Schweiz und in Österreich vorhanden. In Deutschland wird eine Ausbreitung der Pflanze besonders im Südwesten und Nordosten beobachtet.

Indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit des Menschen

Als eine Folge des Klimawandels wird weltweit mit einer Zunahme der durch Vektoren übertragenen Infektionskrankheiten gerechnet. Gebiete, in denen Erreger und Vektoren endemisch sind, weiten sich aus. Erhöhte Temperaturen bedeuten verkürzte Entwicklungszeiten, erhöhte Vermehrungsraten und erhöhte Aktivität der Vektoren. Neben Änderungen im Temperaturregime können auch Niederschläge von Bedeutung sein, durch die lokal neue Feuchtgebiete und damit z.B. Brutplätze für Stechmücken entstehen können.

Von Zecken übertragene Krankheiten: Eine akute Gefahr sind Krankheiten, die durch Zecken übertragen werden. Zecken sind Parasiten von landlebenden Wirbeltieren. Sie ernähren sich vorwiegend von Blut, nehmen dabei ähnlich wie die Stechmücken von ihren Wirten befindliche Mikroorganismen (Viren, Bakterien, Protozoen) auf und übertragen sie später auf andere Wirtsindividuen. Es gibt weltweit über 850 Zeckenarten. Die prominenteste und häufigste Art in Mitteleuropa ist der Gemeine Holzbock (*Ixodes ricinus*), der u.a. die bakteriellen Erreger der Lyme-Borreliose und das Frühsommer-Meningoenzephalitis-Virus überträgt (s. Kap. 3.2.12–14). Im Norden fehlt diese Zecke nur in Island, im nördlichen Skandinavien und im nördlichen Westrussland. Der Gemeine Holzbock ist primär ein Wald- und Waldrandbewohner, kommt aber auch in Parks und Gärten vor.

Das Klima (Temperatur und Luftfeuchte) ist ohne Zweifel ein besonders wichtiger, die Verbreitung vieler Zeckenarten bestimmender Umweltfaktor. Offenbar begünstigt die Erwärmung die Ausdehnung ihrer Verbreitungsgrenzen nach Norden. Vermutlich hat das zunehmend nördliche Auftreten von *I. ricinus* seine Ursache in milden Wintern, früherem Beginn

des Frühlings und verlängertem Herbst. Neben der Lyme-Borreliose und der Frühsommer-Meningoenzephalitis gibt es in Mitteleuropa noch weitere, wenn auch seltener von Zecken übertragene Infektionen wie Q-Fieber, Rickettsiosen und Ehrlichiosen.

Durch Stechmücken übertragene Krankheiten: Global gesehen gehört die *Malaria* trotz aller Bemühungen immer noch zu den verbreitetsten Infektionskrankheiten. Anders als in Europa jemals war, ist die Situation in den Malaria-Gebieten der Tropen und Subtropen erheblich komplexer und lässt aus vielen Gründen dort eine Ausrottung der Malaria nahezu unmöglich erscheinen. Die Folgen einer globalen Erwärmung auf die Verbreitung der Malaria und Zunahme von Erkrankungsfällen werden für diese Gebiete kontrovers diskutiert. Es wird aber damit gerechnet, dass es hier in einigen Regionen als Folge erhöhter Niederschläge lokal zu Ausweitung von Gebieten mit guten Reproduktionsbedingungen für die Stechmücken und zu erhöhtem Infektionsrisiko kommen kann. In Europa konnte im Laufe des 20. Jahrhunderts durch Beseitigung von Fortpflanzungsmöglichkeiten von *Anopheles*-Mücken per Trockenlegung sumpfiger Gebiete sowie gleichzeitige Verbesserungen von Wohnbedingungen und Hygiene eine weitgehende Ausrottung der Malaria erzielt werden. In einigen Bereichen im Süden und Südosten Europas sind aber wieder vermehrt autochthone Fälle aufgetreten. Die wesentlichen Ursachen für das erneute Auftreten autochthoner Fälle in Europa sind die Einschleppung der Malariaerreger im Blut von aus Malariagebieten zurückkehrenden Personen. Entsprechend ist bei fortschreitender Klimaerwärmung und möglicher Einwanderung kompetenter Vektoren auch hier mit Einzelfällen von Malaria-Infektionen zu rechnen. Epidemien oder gar eine erneute Etablierung der Malaria in Europa sind allerdings bei dem gegebenen Standard der Gesundheitsfürsorge nicht wahrscheinlich.

Zu den Infektionskrankheiten, die sich in den letzten Jahrzehnten in tropischen und subtropischen Ländern Besorgnis erregend ausgebreitet haben, gehört das **Dengue-Fieber**. Die jährliche Inzidenz wird auf 50 Mio. Krankheitsfälle geschätzt. Weitere Ausbrüche von Dengue können überall dort auftreten, wo die das Dengue Fieber übertragenden Vektoren leben. In Europa sind dies vornehmlich in Italien, Südfrankreich, Spanien, Portugal und Albanien saisonal und regional begrenzt vorkommende Stechmücken der Gattung *Aedes*, deren Verbreitungsgebiet sich bei ansteigenden Temperaturen weiter nach Norden ausdehnen könnte.

Eine weitere von Stechmücken (*Culex*, *Aedes* und

Mansonia) übertragene Infektionskrankheit ist das **West Nile-Fieber**. Verbreitungsgebiete des erregenden Virus sind Afrika, der Mittlere Osten, Indien, Indonesien und einige Mittelmeerländer, seit 1999 auch die USA, wo erhöhte Temperaturen, Überschwemmungen und Zugvögel - aber auch kontaminierte Blutkonserven - für die Ausbreitung des Virus verantwortlich gemacht werden.

Die potenzielle Gefahr durch die Leishmaniose

Die Leishmaniose ist eine seit über 2000 Jahre bekannte Krankheit bei Menschen und Tieren. Sie wird durch parasitär im Blut lebende geißeltragende Protozoen verschiedener Arten der Gattung *Leishmania* hervorgerufen. Die Erreger werden durch Stiche von Sandmücken übertragen. Dabei kann es zum Befall der Haut, der Schleimhaut und als besonders schwere Erkrankung auch innerer Organe kommen.

Leishmaniosen sind in 88 Ländern der Tropen und Subtropen einschließlich des Mittelmeerraums endemisch. Nach Schätzungen der WHO leben rund 350 Mio. Weltweit sind etwa 12 Mio. Menschen infiziert, und die jährliche Inzidenz wird mit 2 Mio. angegeben. In vielen Ländern hat die Anzahl der Neuerkrankungen in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen. Ein Grund für diese Entwicklung ist, dass sich die Sandmückenpopulationen in vielen Regionen wieder erholen konnten.

Die in Europa häufigste Art, *Leishmania infantum*, verursacht in Südeuropa bei Kleinkindern eine viszerale Leishmaniose und bei Hunden die kanine Leishmaniose. Erkrankten können auch Katzen, Pferde und andere Säugetiere. Da die Anzahl der Reisenden in südliche Länder zunimmt, nehmen auch die Fälle von importierten Leishmaniosen in Mittel- und Nordeuropa zu. Die Anzahl infizierter Hunde im europäischen Mittelmeerraum ist sehr groß. So sind beispielsweise in Südspanien bis zu 42% und auf Sizilien bis zu 80% der Hunde infiziert. In Deutschland nimmt die Zahl der importierten Leishmaniosen zu. Man vermutet, dass es hier z.Z. rund 20.000 Leishmaniose-positive Hunde gibt.

Trotz Erderwärmung und nachgewiesenem Vorkommen von Sandmücken in Deutschland ist das Risiko für Mensch oder Hund, sich bei uns mit Leishmanien zu infizieren und an einer Leishmaniose zu erkranken, noch sehr gering. Dies könnte sich ändern, wenn sich infolge des Klimawandels die Sandmücken weiter ausbreiten und größere Populationen aufbauen sollten. Die große Anzahl schon jetzt infizierter, bei uns lebender Hunde stellt ein bedeutendes Erregerreservoir dar und würde dann ein Gesundheitsrisiko bedeuten.

Blauzungenkrankheit: Eine afrikanische Krankheit in Europa

Die Blauzungenkrankheit – eine Virus-Krankheit der Wiederkäuer – wurde im August 2006 überraschender Weise zum ersten Mal in Mitteleuropa beobachtet. Man glaubte, dass sie im Wesentlichen auf den afrikanischen Kontinent beschränkt war, weil der Hauptüberträger, die Gnitzenart *Culicoides imicola* dort sein Verbreitungsgebiet hat, auch wenn immer wieder relativ kurze Epidemien der sog. Blauzungenkrankheit (*engl.* blue tongue disease) in den Ländern des nördlichen Randes des Mittelmeeres ausgebrochen waren. Der Zug nach Norden unterblieb zunächst, weil es offenbar an geeigneten Vektoren fehlte, denn das Verbreitungsgebiet von *Culicoides imicola* endet eben am nördlichen Mittelmeerrand.

Die Krankheit wurde zunächst bei Rindern in Holland, dann in Belgien und fast zeitgleich im Aachener Grenzgebiet beobachtet. Dann zog der Infektionsherd binnen eines Monats ostwärts über den Rhein. Auch die Nachbarländer wie Luxemburg oder Nordfrankreich waren betroffen. Die serologische Virusanalyse ergaben, dass es sich um den Serotyp 8 handelte, der im Wesentlichen auf Südafrika beschränkt ist.

So galt es so schnell wie nur möglich die Frage nach dem Vektor zu klären. Dazu wurden UV-Lichtfallen aufgestellt. In der Nähe des Aachener Ausbruchgebietes wurden mehrere Gnitzenarten aber im Wesentlichen die Art *Culicoides obsoletus* gefangen. Die entsprechenden Untersuchungen zeigten, dass ausschließlich *C. obsoletus* infiziert war. Wie der Virus nach Mitteleuropa kam, ist bis heute noch nicht geklärt.

Auswirkungen auf terrestrische und aquatische Ökosysteme

Ähnlich wie der Mensch sind auch Wild- und Haustiere klimabedingt durch die Ausbreitung bekannter und neuer Krankheiten betroffen, wie das Beispiel der Blauzungenkrankheit bei Rindern und Schafen belegt. Seit den letzten Jahrzehnten werden weltweit tief greifende Veränderungen registriert, die als Folgen des Klimawandels im Meer und auf dem Land erhebliche Auswirkungen auf Flora und Fauna haben. Viele Organismen, die an niedrige Temperaturen angepasst sind, werden in ihrem Gebiet nicht länger überleben können. Die Erwärmung bietet gleichzeitig Lebensraum für aus wärmeren Regionen einwandernde Arten, was zu einem erheblichen Wandel in der Biodiversität führt. Neben der Änderung der Temperatur wirkt der An-

stieg der CO₂-Konzentration direkt auf die Vegetation. Im Meer führt er zu einer zunehmenden Versauerung. Diese wird negative Auswirkungen auf solche Organismen haben, die Kalkskelette bilden. Weiterhin wird der Meeresspiegel künftig schneller ansteigen, was zu erheblichen Habitatsverlusten führen kann, wo die Küstenlinien künstlich durch Ufermauern und Deiche festgelegt wurden. Die klimatisch bedingten Veränderungen sowohl in den terrestrischen als auch in den marinen Ökosystemen werden durch die Bevölkerungszunahme, intensivere Landnutzungen und Fischerei, Einführung neuer Arten und giftiger Substanzen verstärkt.

Fauna der Nordsee

Die Wassertemperatur in der Nordsee ist höher als vor 150 Jahren und erreicht höhere Werte als die der mittleren globalen Erwärmung. Bemerkenswert ist das Tempo der Temperaturzunahme. Meeresorganismen können sich genetisch kaum daran anpassen. Auch wenn die Temperaturtoleranz der meisten Arten sehr hoch ist, so ändern sich doch ihre Leistungen und damit das ökologische Wechselspiel zwischen Symbionten, Konkurrenten, Räubern und Parasiten. Klimawandel und Welthandel treiben die ökologischen Veränderungen an der Nordseeküste gemeinsam an. Aus wärmeren Meeren durch Schiffe und Muschelfarmen eingeschleppte Algen und wirbellose Tiere können sich etablieren. Am spektakulärsten ist die Invasion der Pazifischen Auster (*Crassostrea gigas*), deren scharfkantige Schalen zu einer Gefahr für Badende geworden sind.

Die Temperatur der Nordsee wird bis 2050 um 1,0–2,5 °C und bis 2080 um 1,5–4,0 °C weiter ansteigen. Die genauen Folgen der Erwärmung für die Fischgemeinschaft der Nordsee sind noch schwer abzuschätzen. Bei über 30 Nordsee-Fischarten werden in ihren Beständen klimatisch bedingte Veränderungen festgestellt, bei einigen (z.B. Kabeljau) eine geographische Verschiebung des Schwerpunktes ihrer Verteilung nach Norden, bei anderen (u.a. Scholle) eine Bewegung in tiefere Bereiche. Beim Kabeljaubestand wird dabei ein Rückgang beobachtet, der durch die Fischerei zusätzlich verstärkt wird.

Gleichzeitig werden seit Mitte der 1990er Jahre vermehrt mediterran-atlantische Arten gefangen, wie Sardelle, Sardine, Meeräsche und Streifenbarbe, Goldlachs und Franzosendorsch. Im Wattenmeer werden seit Jahren zunehmend Jungtiere von Sardelle, Meeräsche, Streifenbarbe und Wolfsbarsch beobachtet. Diese könnten als erste Anzeichen einer Etablierung dieser sonst mehr südlich orientierten Arten in der Nordsee sein (s. Kap. 2.3).

Wälder und exotische Pflanzen

Im Zuge des globalen Klimawandels wird es zu großräumigen Änderungen in der Zusammensetzung und Verteilung der Vegetation kommen. Neben den Folgen einer generellen Erwärmung und des Anstiegs der direkt auf die Vegetation wirkenden atmosphärischen CO₂-Konzentration sind Niederschlagsänderungen von besonderer Bedeutung. Die zu erwartenden Veränderungen werden durch Rückkopplungsprozesse auf das globale Klima zurückwirken. Simulationsmodelle ergeben, dass pro Grad Temperaturerhöhung unter sonst gleichen Bedingungen die Ökozonen um nahezu 200 km polwärts wandern. Die Dürre des Spätsommers 2003 führte in weiten Teilen Europas zu einer deutlichen Verschlechterung des Waldzustandes im Jahre 2004. Abhängig von der Baumart wurden weniger Blätter und Nadeln sowie schmalere Jahresringe gebildet.

In Mitteleuropa sind besonders die Fichtenwälder von den Folgen des Klimawandels betroffen. Die Fichte hat ihre natürliche Verbreitung im Norden und Nordosten Europas und in montanen Lagen mit Jahresmitteltemperaturen zwischen etwa 5 und 8 °C. Sie wurde aber in den Forsten der norddeutschen Tiefebene und den unteren Lagen unserer Mittelgebirge eingeführt. Hier ist es für diese Baumart bereits heute in vielen Bereichen zu warm. Aufgrund des Wärme-Stresses wird eine gesteigerte Empfindlichkeit der Fichten gegen den Befall durch Borkenkäfer beobachtet. Die Fichte ist auch besonders empfindlich gegen die Wirkung von extremen Sturmereignissen, die in den vergangenen Jahrzehnten in Deutschland auch in scheinbar stabilen und naturnahen Waldökosysteme zu großen Schäden geführt haben. Weit weniger als Fichtenforsten sind standortgerechte naturnähere Mischwälder mit Buchen, Eichen und anderen Laubbäumen betroffen.

Im Zuge des Klimawandels breiten sich derzeit viele Pflanzenarten in Gebieten aus, in denen sie früher nicht heimisch waren. Von der Erwärmung profitieren besonders auch zahlreiche gebietsfremde Exoten, die im Zuge des globalen Handels eingeführt wurden. Sie können starke Veränderung der Ökosysteme bewirken

Gefährdung der Biodiversität am Beispiel der Amphibien und Vögel

Nahezu 33% der rund 6.000 Amphibienarten (davon 80% Froschlurche) (*Abb. 4* und *5*) stehen auf der Roten Liste der World Conservation Union (IUCN) als vom Aussterben bedroht. Sie sind aufgrund ihrer drüsenreichen, nicht keratinisierten, permeablen und dadurch hoch empfindlichen Haut und

ihres biphasischen Lebenszyklus (mit aquatischen Larval- und terrestrischen Erwachsenenstadien) besonders als Indikatororganismen geeignet und scheinen von allen Wirbeltieren am schnellsten auf Klimaveränderungen zu reagieren. Die durch den Klimawandel hervorgerufenen Probleme werden durch die zunehmende Zerstückelung der Lebensräume verschärft.

Auch unter den Vögeln, die in der Verbreitung der einzelnen Arten deutliche Beziehungen zu den Temperaturbedingungen in ihren Brutgebieten und ihren Winterquartieren aufweisen, werden manche Arten beeinträchtigt, einige werden von den sich ändernden Bedingungen profitieren. In den gemäßigten Breiten ist zu erwarten dass sich sowohl das Artgefüge der Avifauna wie auch das Verhalten der Vögel erheblich ändern werden. Modellrechnungen ergaben für einzelne europäische Brutvögel, dass sich ihr Vorkommen im 21. Jahrhundert um mehr als 1.000 km nordwärts verlagern könnte.

Zu den Verhaltensänderungen gehört eine Reduzierung des Vogelzugs mit Verkürzung der Wege, Änderung der Zeiten des Zugs, Überwintern im Brutgebiet oder in neuen näher am Brutgebiet liegenden Winterquartieren. Viele Zugvögel kommen bereits heute um bis zu drei Wochen früher aus ihren Winterquartieren zurück als noch vor 30 Jahren und manche bleiben im Herbst länger im Brutgebiet. Ursache dürfte der Umstand sein, dass sich die Bedingungen für Zugvögel bei den Veränderungen im nordatlantischen Klimagefüge im mittleren und nördlichen Westeuropa verbessern, in Südwesteuropa aber gleichzeitig bei heißeren und trockneren Bedingungen im Winter und zeitigen Frühjahr verschlechtern. Auch das Brutverhalten hat sich bei zahlreichen Vogelarten geändert. Viele Vögel brüten heute wesentlich früher als vor 30 Jahren. Im Detail fällt auf, dass die Ankunft und das Brutverhalten der Vögel eine stärkere Verfrühung zeigt als die ebenfalls verfrühte Entwicklung der Vegetation. Hier liegt eine Asynchronie phänologischer Ereignisse vor, deren demographische Auswirkungen noch einer detaillierten Untersuchung bedürfen.

Bedeutung von Vögeln für die Ausbreitung von Infektionskrankheiten

Wie andere Wildtiere können auch Vögel ein Reservoir von Krankheitserregern sein. Insbesondere Zug- und Strichvögel sind prinzipiell in der Lage, diese schnell zu verbreiten. Zu den Viren, für die Vogelarten als Reservoir gelten, gehören z.B. das West Nile-Virus und das Usutu-Virus, für die nicht ausgeschlossen werden kann, dass ihre globale Verbreitung durch Zugvögel erfolgte.

Ein weiteres Beispiel dafür ist die Vogelgrippe. Der Erreger ist ein besonderer Typ der Influenza-A Viren (AI), von denen bekannt ist, dass sie ihr natürliches Reservoir in Wild- bzw. Wasservögeln haben. In diesen entwickeln sie sich normalerweise als schwach pathogene Stämme ohne Symptome, es kommt aber immer wieder dazu, dass diese zu hoch pathogenen Formen mutieren und dann Vögel in großer Zahl sterben. Die Rolle von Klimaveränderungen bei der Ausbreitung dieser hoch pathogenen Stämme ist schwer zu bewerten. Bedeutender sind gegenwärtig offenbar der weltweite Handel mit Geflügel und Geflügelprodukten.

Wirkung des Klimawandels auf die landwirtschaftliche Produktion

Eine wesentliche Folge des Klimawandels mit regionalen Änderungen der Niederschlagsverhältnisse und der Feuchte von Luft und Böden sind Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion und Landschaftsökologie wie auch Auswirkungen auf den Welthandel mit Agrarprodukten.

Von den zu erwartenden Änderungen des Bodenwasserhaushalts und der Wasserverfügbarkeit und damit der pflanzenbaulichen Rahmenbedingungen wird der Westen Deutschlands weit weniger betroffen sein als weite Bereiche Ost- und Mitteldeutschlands, speziell in Gebieten mit sandigen Böden (z.B. in Brandenburg) wo geringe Niederschläge mit geringer Speicherfähigkeit der Böden und geringer Feldkapazität, d.h. geringer Tiefe des durchwurzelten Bereichs, kombiniert sind.

Insgesamt ist das Ausmaß des für Kulturpflanzen resultierenden Wassermangels, im Gegensatz zu anderen Klimaregionen, in Mitteleuropa eher als moderat einzustufen, jedenfalls bei mittleren Verhältnissen. Entscheidend für die ökonomische Situation der Landwirtschaft dürfte die Häufigkeit des Auftretens von Extremwetterlagen mit einerseits durch Sommertrockenheit, andererseits durch Starkregen bedingten Effekten sein.

Ein Beispiel für eine Sparte der Landwirtschaft, in der sich die zu erwartenden Klimaänderungen stark auswirken wird, ist der **Weinbau**. Hier sind deutliche Änderungen in der geographischen Begrenzung der für der Reben geeigneten Regionen zu erwarten. In Europa werden sich Gebiete mit Anbaueignung nach Norden und Osten erweitern. Global gesehen wird es in den derzeitigen Weinanbaugebieten auch Bereiche geben, in denen es zu warm wird. Lokal wird der Klimawandel einen Einfluss auf die Auswahl der anzubauenden Rebsorten haben, auch wird sich der Charakter spezifischer Sorten ändern.

Neben den Auswirkungen des Klimawandels auf die landwirtschaftlichen Erträge müssen die Auswirkung auf die **Grundwasserneubildung** und die **Speisung ökologisch wertvoller Feuchtgebiete** gesehen werden, wie auch mit Änderungen in der Landnutzung verbundene Effekte, die den Stoffumsatz in einer Weise beeinträchtigen, dass es im Sickerwasser (und damit in als Trinkwasser genutzten Leitern) zu stark erhöhten Nitratkonzentrationen kommt.

Betrachtet man die sich global im Bereich Landnutzung abzeichnenden Änderungen, so wird deutlich, dass zahlreiche bislang intensiv genutzte Agrarregionen wesentlich gravierender vom Klimawandel betroffen sein werden als hier in Mitteleuropa. Die FAO rechnet mit einer starken **Steigerung der Nachfrage nach pflanzlichen Produkten**. Als eine Folge wird die Konkurrenz um Fläche zur Produktion von Biomasse für Ernährungszwecke, als Rohstoff für industrielle Produktionen, oder als Energieträger in weltweitem Maßstab zunehmen, ebenso die Konkurrenz bei der Nutzung der verfügbaren Wasserressourcen. Die aus den sich abzeichnenden Entwicklungen der Märkte resultieren Konflikte machen es erforderlich die damit verbundenen Gefahren richtig einzuschätzen, Maßnahmen zur Anpassung der

Landnutzung an neue klimatische Randbedingungen zu konzipieren und dann auch umzusetzen.

Änderung der Produktqualität in der Landwirtschaft

In fast allen Studien zum »CO₂-Düngeeffekt« wird die Reaktion einer Veränderung der chemischen Zusammensetzung des pflanzlichen Gewebes beobachtet. Betroffen sind sowohl der Gehalt an Makro- und Mikroelementen als auch die Konzentrationen sonstiger Inhaltsstoffe (z.B. Zucker, Vitamine, sekundäre Pflanzenstoffe). Herausragendes Beispiel dafür ist die Reduktion des Stickstoffgehaltes sowohl in vegetativen Organen (Blatt, Stängel) als auch in Früchten, Samen bzw. Körnern. CO₂-Anreicherungsuntersuchungen (550–650 ppm) an Weidelgras, Weizen und Gerste unter sehr unterschiedlichen Wachstumsbedingungen ergaben im Mittel über alle Versuchsbedingungen eine Reduktion des Stickstoffgehaltes im Blatt oder in den Getreidekörnern in der Größenordnung zwischen 10–15% im Vergleich zur heutigen CO₂-Konzentration. Beispielsweise war die CO₂-bedingte Verminderung der Stickstoffkonzentration um 5% im Spross von Klee im Vergleich zu Weizen durch die Möglichkeit der Stickstoff-Fixierung ca. 50% geringer (s. Kap. 4.5).



Abb. 1: Zunahme der Fläche mit Ablation innerhalb des grönländischen Innlandeises (nach Steffen & Huff).

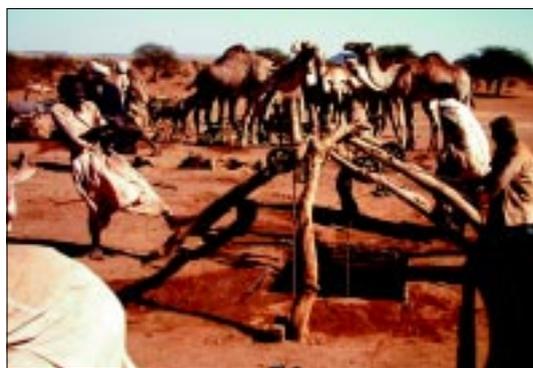


Abb. 2: In vielen ariden und semi-ariden Regionen wird das Wasser noch knapper als bisher (Foto: M. Akhtar-Schuster).



Abb. 3: Durch Rückgang des Permafrosts verformte Häuser in Tiksi (Sibirien) (Foto: H. Lantuit).

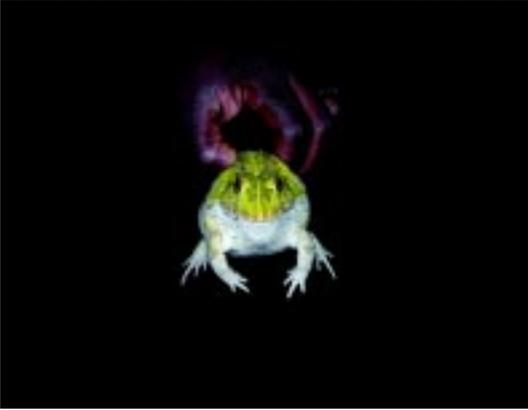


Abb. 4: Die Amphibie ist eine der Tiergruppen, die aufgrund der Klimaerwärmung am meisten gefährdet ist (Foto: M.Akhtar-Schuster).



Abb. 5: Eisbären verlieren ihre Lebensräume ohne eine Möglichkeit, ausweichen zu können (Foto: J. Thomassen, Trondheim).

Was wird bereits getan und was soll getan werden?

Die dringende Aufforderung der Klimaforschung an die Weltgemeinschaft ist sofort zu handeln, mit dem Ziel, den Ausstoß an Treibhausgasen rasch zu mindern sowie die Entwaldung zu stoppen. Wissenschaftler warnen davor, dass eine Erwärmung jenseits von 2 °C zu Klimaveränderungen in einem Ausmaß führen kann, welches in weiten Teilen der heute dicht besiedelten Welt die Möglichkeiten einer Anpassung übersteigt.

Nicholas Stern (der ehemalige Chefökonom der Weltbank) schreibt in seiner Studie für die britische Regierung im Jahr 2006, dass die direkten und indirekten Folgen des Klimawandels pro Jahr mindestens 5% des globalen Bruttoinlandsproduktes verschlingen – und sogar 20% nicht ausgeschlossen sind, sollte die Menschheit nichts gegen die Erderwärmung unternehmen. Dies könnte die Weltwirtschaft in die schwerste Rezession stürzen und Kosten von mehr als 9 Billionen Euro pro Jahr verursachen. Allerdings ließen sich durch Investitionen etwa in Technologien zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes in Höhe von 1% des weltweiten Bruttoinlandsproduktes (470 Milliarden EUR) Jahr für Jahr die schlimmsten Auswirkungen des Wandels vermeiden. Damit können wir das Klima schützen und gleichzeitig auch wirtschaftlich wachsen. Das Erreichen dieser Ziele hängt vom politischen Willen der Entscheidungsträger ab, da entsprechende Technologien zum großen Teil vorliegen. Im Mittelpunkt bei der Umsetzung des notwendigen Klimaschutzes stehen die G13-Staaten (8 Industriestaaten sowie China, Brasilien, Indien, Südafrika und Mexiko), da sie ca. 70% der CO₂-Emissionen ausstoßen.

Die heutigen Klimarisiken für die Gesundheit sind vor allem durch veränderte thermische Bedingungen, aber auch durch Veränderungen im Bereich der UV-Strahlung und der Lufthygiene zu erwarten. Da wir bereits bei einer Erwärmung unterhalb von 2 °C mit erheblichen Folgen zu rechnen haben, muss neben einem effizienten Klimaschutz im Sinne der Vorsorge mit geeigneten Anpassungsmaßnahmen reagiert werden. Diese betreffen Umstellungen in unserem täglichen Verhalten und die Einrichtung von Hitze- und Pollen-, Ozon- und UV-Warnsystemen ebenso wie Maßnahmen zum klimagerechten Umbau unserer Städte, des ländlichen Raums und der Forsten ebenso wie Änderungen in unserem täglichen Verhalten und in wirtschaftlichen Aktivitäten.

Aufgrund der Folgen der Hitzewelle im Sommer 2003 haben viele Länder in Europa bereits Hitzewarnsysteme errichtet. So haben in Deutschland alle Bundesländer in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst Systeme eingeführt, die bei Bedarf räumlich konkretisierte Warnungen und Verhaltensempfehlungen ausgeben. Darüber hinaus wurden unter Federführung des Robert-Koch-Institutes Überwachungs-Programme und Frühwarn-Systeme etabliert, um Veränderungen im Auftreten von Infektionskrankheiten systematisch zu erfassen und –wenn erforderlich – zu reagieren.

Durch Anpassungsstrategien ist die Anpassungskapazität der Bevölkerung zu erhöhen und damit die Verwundbarkeit gegenüber gesundheitlichen Folgen des unvermeidlichen globalen und regionalen Klimawandels zu verkleinern.