

Ozeane und Klima



Mit dem Ansteigen des Meeresspiegels wird der Verlust von Küsteninfrastrukturen durch Überflutungen künftig zu Klimaflüchtlingen und Migrationswellen führen.

Die Ozeane sind die größte CO₂-Senke. Sie absorbieren derzeit etwa ein Drittel des global emittierten CO₂. Allerdings wird nur ein kleiner Anteil dieses Treibhausgases dauerhaft gespeichert. Der überwältigende „Restbetrag“ wird wieder an die Atmosphäre abgegeben.

Ozeane sind daher der mit Abstand größte Emittent von klimaschädlichen Gasen. Je nach Region wird ein Anteil von etwa 60 bis 70 % an diesen Gasen erreicht. Mehr als 90 % dieser Emissionen bestehen aus Wasserdampf. Der überwiegende Teil dieses Gases ist auf die erhöhte Verdunstungsrate als Folge der globalen Erwärmung des Meeresswassers zurückzuführen. Hierbei handelt es sich um den stärksten Rückkopplungsfaktor, durch den ihrerseits die globale Erwärmung verstärkt wird. Die

Bewölkung (kondensierter Wasserdampf) absorbiert teilweise die Infrarotstrahlung und verstärkt so den Treibhauseffekt.

Für die Aufnahmekapazität an CO_2 der Meere, aber besonders auch für ihre Biodiversität ist ihre zunehmende Versauerung von hoher, negativ zu beurteilender Bedeutung. Obwohl es nur eine vergleichsweise sehr gering erscheinende Verschiebung aus dem leicht basischen in Richtung des sauren Bereichs gegeben hat, sind dessen Auswirkungen erheblich. So sollen die Ozeane heute bereits um 30 % saurer als vor 250 Jahren sein. Das Absinken des pH-Werts ist besonders in den Polregionen und im küstennahen Bereich, weniger auf hoher See festzustellen.

CO_2 liegt im Meer in drei verschiedenen Formen vor:

- als gelöstes Kohlendioxid-Gas (CO_2),
- als Hydrogenkarbonat (HCO_3^-),
- als Karbonat (CO_3^{2-}).

In kälterem Wasser wird mehr CO_2 aufgelöst als in wärmerem. Das Gleiche gilt für salzärmeres Wasser. Von besonderer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang die Tiefwasserzonen. Mit dem absinkenden, kalten Oberflächenwasser wird das gelöste CO_2 in die Tiefe befördert. So wird es der Atmosphäre so lange entzogen, bis dieses Tiefenwasser durch Auftriebsereignisse – häufig erst nach Jahrhunderten – wieder an die Oberfläche gelangt. Dieses CO_2 -haltige Wasser wird über die Tiefenströmung des „Globalen Förderbandes“ weiträumig verteilt („physikalische Kohlenstoff-Pumpe“). Diese wird durch die Wassererwärmung erheblich geschwächt.

Andererseits wird durch die Photosynthese der Algen bereits gelöstes CO_2 entzogen und eingebaut. Abgestorbene Algen sinken in die Tiefe und entziehen so das zellulär gebundene CO_2 dem atmosphärischen Kreislauf. Dieser Prozess wird als „biologische Kohlenstoff-Pumpe“ bezeichnet. Als Folge der Erwärmung wird die Durchmischung der Schichten im Meer verringert. Eine relativ stabile Wasserschichtung bildet sich heraus. So werden auch weniger Nährstoffe aus tieferen Schichten an die Oberfläche gefördert. Im Endeffekt lässt diese „biologische Pumpe“ nach oder fällt gar weitgehend aus.

Dagegen wirkt die sog. „Kalk-Pumpe“ diesen beiden Prozessen entgegen. Sie nimmt ihren Anfang mit der Bildung von Kalkschalen oder -gerippen mariner Lebewesen. Die Kalkbildung von Korallenriffen verläuft etwa viermal schneller als diejenige bei Kalkalgen. Da die Korallenriffe noch dazu in warmen Flachmeeren liegen, ist der Anstieg von CO_2 deutlich geringer, da seine Löslichkeit in warmem Wasser gering ist. Dennoch wird auch hier CO_2 freigesetzt, das zu einer weiteren Erhöhung der Konzentration dieses Gases im Wasser führt. An der Wasseroberfläche wird dieses CO_2 dann endgültig als Treibhausgas emittiert.

In Summa führt CO_2 zur Versauerung, Erwärmung und Sauerstoffverarmung der Meere. Letztere ist ebenfalls vor allem in den Polregionen und besonders in Küstennähe festzustellen. Hier machen sich auch die negativen Auswirkungen der Einleitung schädlicher Stoffe besonders bemerkbar. Außerdem lässt sich die Veränderung in der Ozeanzirkulation, der anhaltende Anstieg des Meeresspiegels, sowie die veränderte

marine Produktivität und abnehmende Biodiversität auf die globale Temperaturerhöhung und damit in erster Linie, wenn auch nicht nur, auf das Kohlendioxid zurückführen.

Auch beeinträchtigt die zunehmende Versauerung die Physiologie, das Verhalten und das Überleben vieler Meereslebewesen mehr oder weniger stark. Als geradezu dramatisch werden die Veränderungen in der Entwicklung von Meeresfauna und -flora in den Küstengewässern der Antarktis bezeichnet. Zusätzlich führen die Klimaveränderungen an den Polen sehr wahrscheinlich zu globalen Wetter- und Klimaveränderungen. Sie sollen auch klimatische Extremereignisse unterstützen.

Auffällig ist auch der „Eisschwund“ von meernahen Gletschern und Meereis und hier vor allem der drastische Rückgang des sommerlichen Meereises in der Arktis auf 14,1 Mio. km² (der tiefste Stand seit Beginn der Messungen 1981). Er wird allerdings „nur“ zu etwa 60 % dem Klimawandel, zu 40 % vor allem Luftströmungen aus dem Pazifik zugeschrieben. Fraglich erscheint allerdings, ob diese Luftströmungen auch ohne die Erwärmung des Pazifik so entstanden wären. Festzuhalten ist in jedem Falle, dass die arktische Meereisfläche deutlich stärker schrumpft, als dies in den Klimamodellen prognostiziert worden war. Sie ist im Sommer bereits durchgehend bis zum 85. Breitengrad nördlicher Breite aufgetaut. Auch das Meereis in der Antarktis schwindet in dramatischer Weise. Im Februar 2017 war die Eisfläche mit 2,28 Mio. km² so gering wie noch nie. Auf der Antarktischen Halbinsel ist die Durchschnittstemperatur seit 1950 um 3 °C gestiegen – also etwa um das Dreifache des globalen Temperaturanstiegs. Unbestritten ist, dass an beiden Polregionen die Stärke des Meereises abgenommen hat.

Als wichtigste Probleme in diesem Zusammenhang werden gesehen:

- das großflächige Schmelzen des Meereises sowie des Inlandeises in der Antarktis und auf Grönland,
- der damit verbundene globale Anstieg des Wasserspiegels der Ozeane um 1 bis 1,4 m bis 2100,
- die zunehmende „Energieballung“ in der Atmosphäre durch die höhere Verdunstung mit der Folge einer zunehmenden Wahrscheinlichkeit von Wetterextremen,
- ein spürbarer Rückzug der Küstenlinien, Überflutungen,
- der Verlust von Küsteninfrastruktur, die Verdrängung von Menschen und letztlich eine steigende Migration.

Negative Folgen sind vor allem für niedrigere Inseln und flache Küstenregionen vorzusehen. So liegen acht der zehn weltgrößten Städte in akut gefährdeten Küstenregionen und gelten daher als überflutungsgefährdet. Besonders betroffen sind z.B. die folgenden Länder (die Prozentangaben repräsentieren den Anteil der betroffenen Bevölkerung): Malediven (100 %), Bahamas (88 %), Bahrein (78 %), Surinam (78 %), Niederlande (60 %), Vietnam (53 %), Bangladesch (39 %), Ägypten (36 %).

Die erforderlichen protektiven Maßnahmen sind ausgesprochen kostspielig. Da vor allem ärmere Länder in Mitleidenschaft gezogen werden, müssten diese international massiv unterstützt werden, wenn man Migrationsströme enormen Ausmaßes vermeiden möchte.

Tiefgreifende Veränderungen der Strömungsmuster der Ozeane sind zu erwarten, was Auswirkungen auf die klimatischen Verhältnisse auf dem Festland (Beispiel Golfstrom) haben wird.

Die Populationen der kalkskelettbildenden Lebewesen werden wegen der Versauerung stark abnehmen. Gerade sie bilden jedoch häufig die Basis der Nahrungskette. Regional, aber auch global muss daher mit erheblichen Biodiversitätsverlusten gerechnet werden. Die marine Biodiversität bestimmt jedoch alle biologischen Prozesse in den marinen Ökosystemen. Veränderungen dieser biologischen Abläufe beeinflussen das betreffende Ökosystem. Diese Prozesse haben daher nicht nur ökologische, sondern häufig auch gravierende ökonomische Folgewirkungen. Auch ist davon auszugehen, dass rasch ablaufende evolutionsbiologische Reaktionen eintreten werden, deren Entwicklungsrichtung sich nicht abschätzen lässt. Mit der Ausbreitung von Parasiten und Pathogenen mit vergleichsweise hoher Geschwindigkeit ist zu rechnen. Diese können für den Menschen direkt (Gesundheit) oder indirekt (z.B. Ernährungsbasis) gefährlich werden.

Auch wird von einer Zunahme der Wetterextreme (z.B. Orkane, Dürren, Überschwemmungen) ausgegangen. Allerdings ist hier die Datenlage unsicher. In den Fällen jedoch, in denen sie als ausreichend tragfähig betrachtet werden kann, sind die Trends eindeutig. Beispiele: Abnahme der Frosttage, Zunahme der Tage mit hoher Tages- und Nachttemperatur, Verringerung der extremen Kältewellen, Zunahme der extremen Hitzeperioden, Zunahme der Starkniederschläge.

Die Hauptursache des hohen Ausstoßes an Wasserdampf ist die Erwärmung der Ozeane. Dadurch wird der Wärmetransport zwischen den Meeren („marines Förderband“) erheblich beschleunigt und zugleich verstärkt mit entsprechenden negativen globale Auswirkungen für das Klima und die Biodiversität.

Man kann diese hohen Emissionen der Ozeane an Wasserdampf nur in sehr geringem Maße durch entsprechende Maßnahmen auf dem Festland beeinflussen. Zwei Hauptziele müssen unbedingt erreicht werden: die drastische Reduktion des globalen Ausstoßes an Klimagasen und eine durchgreifende Verringerung der Einleitungen von Schadstoffen, die zur Eutrophierung und letztlich zu „toten Zonen“ in küstennahen Bereichen und Flachmeeren führen.

Bisher wurden die Millenniumziele der Biodiversitäts-Konvention (CBC) glatt verfehlt. Statt die globale Klimaerwärmung wie geplant abzubremsen, läuft die Entwicklung ungebrochen weiter. Das Ende vergangenen Jahres in Paris beschlossene Ziel, den Klimaanstieg bei 1,5 °C aufzuhalten, kann nicht mehr eingehalten werden. Als konkrete Maßnahmen werden neben der bereits oben erwähnten drastischen Verringerung der Einleitung von Schadstoffen vor allem genannt:

- eine entscheidende Verringerung des Ausstoßes an CO₂ und Methan (CH₄) durch eine konsequente Umstellung auf regenerative Energiesysteme in allen Wirtschafts- und Verkehrsbereichen,
- der rasche Übergang zu einer dezentralen Erzeugung von Strom auf der Basis von Sonne und Wind,
- eine Effizienzkampagne für den Energieverbrauch auf breitester Front (vom Verkehr über die Gebäudedämmung bis hin zu Haushaltsgeräten),
- ein möglichst rascher Übergang zu einer nachhaltigen Landwirtschaft,
- Kampagnen mit dem Ziel, das gegenwärtige Konsumverhalten - vor allem im Lebensmittelbereich - wesentlich zu ändern,
- das Verbot weiterer, nicht an konkrete, aus gesamtgesellschaftlicher Sicht wichtige Auflagen gebundener Subventionen - vor allem auch im Agrarbereich,
- der Rückbau solcher Subventionen über einen möglichst kurzen Zeitraum auf Null. Dies vor allem dann, wenn sie sich klimabelastend auswirken wie beispielsweise durch Energieerzeugung mit fossilen Brennstoffen, durch die Produktionsprozesse bei der Herstellung von Zement oder Aluminium oder durch die Massentierhaltung.

Harte, international abgestimmte Konventionen mit entsprechenden Kontrollsystemen und Sanktionsmechanismen sind erforderlich. Finanzschwache Schwellen- und Entwicklungsländer müssen unterstützt werden, damit sie die Stufe der Stromerzeugung auf der Basis fossiler Energie überspringen können. Auch muss die Forschung intensiviert, ausreichend finanziert und national wie international noch besser vernetzt werden. Es ist dringend erforderlich, bessere Kenntnisse über die gegenwärtigen Lebensgemeinschaften mariner Organismen in unterschiedlichen Gewässern und Tiefen, aber auch am Meeresboden und ihre derzeitigen Entwicklungstendenzen zu gewinnen. Derartige Forschungen sind deshalb als besonders wichtig anzusehen, da sehr viele dieser Prozesse durch biologische Komponenten angetrieben werden.

Immer wieder wird in diesem Zusammenhang vor allem von wirtschaftlich interessierter Seite auf die Möglichkeiten großtechnischer Lösungen hingewiesen. Allerdings sind die bisher vorgetragenen Methoden des Geoengineerings – und hier vor allem die drei wichtigsten Projekte - Schwefelinjektionen in die Atmosphäre, die großflächige Düngung nährstoffarmer Meeresregionen mit Eisensulfat und Versuche, einen Gegen-Klimawandel auszulösen - höchst umstritten. Außerdem werden sie in jedem Falle außerordentlich hohe Kosten verursachen. Über theoretische Überlegungen oder erste Versuchseinsätze sind alle diese Vorhaben auch noch nicht hinausgekommen. Zudem werden sie völkerrechtlich eher kritisch gesehen und sind sogar teilweise in mehreren Ländern explizit verboten. Das IASS (Institute for Advanced Sustainability Studies), Potsdam, das vom früheren Direktor des UNEP, Klaus Töpfer, geleitet wird, hat zum Auftrag, Entwicklungspfade für die globale Transformation zu einer nachhaltigen Gesellschaft aufzeigen. IASS hat sich intensiver mit den oben angeschnittenen Fragen befasst und sieht vor allem „hohe Risiken“. Allerdings sind „negative Emissionen“ (Verminderung des jetzigen Ausstoßes an Treibhausgasen) nach Ansicht des Weltklimarates geboten, ja „unausweichlich“, wenn man das Pariser Abkommen (2016)

noch erfüllen möchte und dies selbst und gerade auch dann, wenn man seine Ziele nicht mehr erreichen kann.

Jedoch werden bei derartigen Ingenieursmaßnahmen im großen Stil, selbst wenn sie gelingen sollten, kaum mehr abschätzbare Reaktionen befürchtet, die zu unvorhergesehenen, erheblichen Ungleichgewichten führen könnten. Auch sei die allgemeine – auch politische - Einstellung zu diesen Strategien bisher deutlich negativ.

Daraus ergibt sich für einen logisch denkenden Menschen in erster Linie der Schluss, dass alles auf diesem Gebiet für ein „Nichtstun“ spricht: diese großtechnischen Vorhaben sind in erster Linie wirtschaftlich interessegeleitet; Erfolge sind höchst fraglich; man kann Risiken noch nicht einmal ausreichend sicher erkennen, geschweige denn abschätzen; die Kosten werden bei hohem Risiko von Fehlschlägen gigantisch sein.

Dagegen sollte man unbeirrt weiter an Strategien zum Erreichen „negativer Emissionen“ festhalten, diese auch ausarbeiten und gezielt umsetzen. Es liegen so viele technisch ausgereifte und erprobte Vorgehensweisen auf dem Tisch. Diese werden aber durch die starken Gegenkräfte aus Politik und Wirtschaft und das geringe Problembewußtsein der Bevölkerung weitgehend behindert und verschleppt. Daran muss engagiert und mutig gearbeitet werden.

Hinweise auf Literaturquellen

Koch-Krumrei, M.: Die Zukunft der Ozeane. Der Einfluss menschlicher Aktivität auf die Meeressysteme. - www.leopoldina.org/publikationen

Sterr, H.: Folgen des Klimawandels für Ozeane und Küsten. - www.edoc.hu-berlin.de/miscellanies/Kklimawandel-28044/86/PDF/86.pdf

FiWiSo-Allianz

sele im September 2017

Bilder: copyright rnl.jpeg