Reise ins Meer –

Über die Bedrohung der marinen Ökosysteme

Stephan Moldzio

Dieser Beitrag soll einen kleinen Einblick geben, welche **große Bedeutung die Meere und Ozeane für uns Menschen, für das Klima, oder auch für die globalen Stoffkreisläufe** spielen. Die Bedrohungen, denen die **marinen Ökosysteme** ausgesetzt sind, sollen am **Beispiel der Korallenriffe** verdeutlicht werden. Die Korallenriffe sind dafür ein gutes Beispiel, weil sie in vielfacher Hinsicht durch menschliche Einflüsse bedroht sind. Sie sind auch ein sensibler Gradmesser dafür.

Das Meer als physikalisch-chemischer Lebensraum

Die **Biosphäre** ist die Gesamtheit aller belebten Lebensräume der Erde. Das Volumen der Meere und Ozeane beträgt über 1,3 Mrd. km³ - ein gewaltiges Volumen [1] - und das Tolle daran ist: In jedem Tropfen davon ist Leben! In einem milli-Liter Ozeanwasser befinden sich mehrere Millionen Bakterien. Diese sind meist kleiner als 1/1000 mm aber sie spielen, für uns im Verborgenen, eine wichtige Rolle bei den **biogeochemischen Stoffkreisläufen**: Sie zersetzen organisches Material, nehmen gelöste organische Verbindungen auf und sie sind selber Nahrung für etwas größere, aber ebenfalls winzige Planktonorganismen[2].

Vor über 2 Mrd. Jahren gab es in der Uratmosphäre keinen O2, stattdessen umsomehr CO_2. Es waren marine Cyano-Bakterien, die damals die Photosynthese entwickelt haben und anfingen, den Kohlenstoff aus dem CO_2 der Uratmosphäre zu binden und Sauerstoff zu produzieren. Die **Entfernung des** CO_2 **aus der Atmosphäre** war die entscheidende Vorraussetzung für die weitere Evolution höheren Lebens. Ohne das würden die Bedingungen auf der Erde heute absolut lebensfeindlich sein und denen der Venus ähneln. Es war also das Leben selbst, das die **Vorraussetzungen für die eigene weitere Existenz und Höherentwicklung** geschaffen hat.

Der Kohlenstoff wurde im Laufe von Hunderten von Millionen Jahren in riesigen Mengen **Kalkgesteinen** und in Form der heutigen **fossilen Energieträger** abgeschieden.

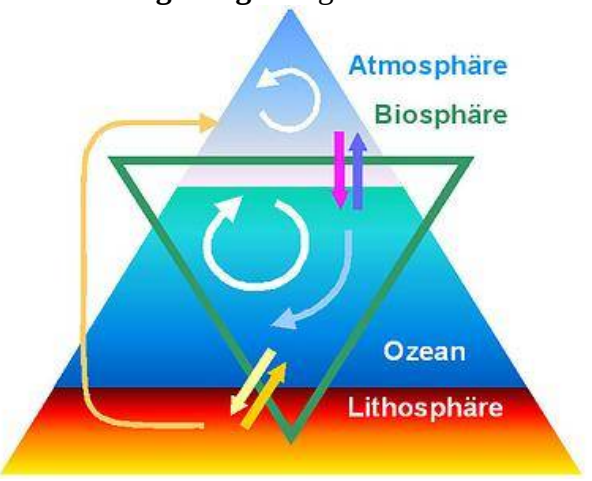

Abbildung 1: Biogeochemische Stoffkreisläufe
Grafik: IFM-GEOMAR, Kiel

Ein Beispiel für die biogeochemischen Stoffkreisläufe zwischen den verschiedenen Bestandteilen des Erdsystems:
Marine Organismen bilden Kalkskelette, diese lagern sich auf dem Meeresboden ab – in geologischen Zeiträumen hebt sich der Meeresboden und die fossilen Kalkgesteine werden durch Verwitterungsprozesse aufgelöst und gelangen über die Flüsse zurück ins Meer.

Über 70% der Erde sind von den Meeren und Ozeanen bedeckt, die Durchschnittstiefe beträgt etwa 3800 m. Die **Tiefsee** nimmt damit mehr als die **Hälfte der Erdoberfläche** ein.[1]
Die **Photosynthese**, also der **Aufbau organischen Materials aus anorganischen Nährstoffen mittels Lichtenergie** kann nur in der oberen, euphotischen Zone stattfinden.

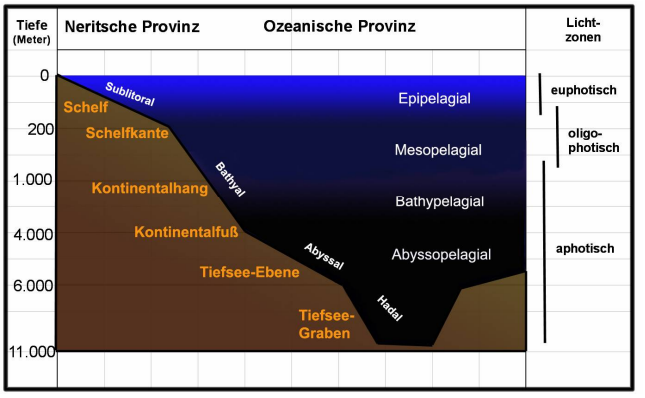

Abbildung 2: Tiefenzonen im Ozean
Grafik: S. Moldzio (2008) nach Piepenburg in Hempel, Hempel & Schiel (2006)

Alle darunterliegenden Zonen, wo keine Photosynthese möglich ist, sind auf das hieraus herabrieselnde organische Material angewiesen. Die **Tiefsee** stellt somit auch den **Großteil des Ozeanvolumens**. Die euphotische Zone ist nur eine dünne Deckschicht über dem kalten, dunklen Tiefenwasser.
Die **thermohaline Zirkulation** ist ein die ganze **Welt umspannendes System von Ozeanströmungen**. Sie ist von großer **Bedeutung für die globalen Stoffkreisläufe**, z.B. für die **Nährstoffverteilung in den Ozeanen**, oder auch für den **globalen Wasser- und Wärmehaushalt**, für das **Klimasystem der Erde** - dabei sind die Kontinente, die Lebensräume an Land natürlich mit eingeschlossen.

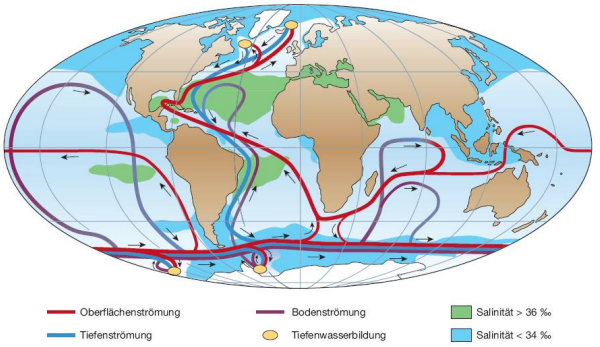

Abbildung 3: Thermohaline Zirkulation
Grafik: WBGU (2006), nach Rahmsdorf (2002)

Antriebsmotor ist das Absinken von kaltem, salzreichem Meerwasser an den Polen. Riesige Wassermassen fallen hier durch ihre höhere Dichte in die Tiefe, strömen an den Ozeanböden entlang über den ganzen Globus und in den Auftriebsgebieten gelangt das **nährstoffreiche Tiefenwasser** zurück an die Oberfläche. Nährstoffreich ist es, weil ständig organisches Material aus der euphotischen Zone herabsinkt und hier zersetzt wird – so findet sich in diesen **Auftriebsgebieten** eine **hohe biologische Produktivität**. Ein Kreislauf dauert ungefähr 1000 Jahre, d.h. das heute absinkende Tiefenwasser gelangt erst in mehreren Hundert Jahren wieder an die Oberfläche. Durch die **globale Erwärmung** hat sich die thermohaline Zirkulation bereits abgeschwächt[3], und könnte langfristig sogar ganz aussetzen – das hätte natürlich in jeder Hinsicht verheerende Folgen.

Ökosystem Korallenriff

Die **Korallenriffe** stellen einen ganz besonders vielfältigen Lebensraum dar mit einer riesigen Artenvielfalt, faszinierenden Wechselbeziehungen und verschiedenen Lebensweisen.

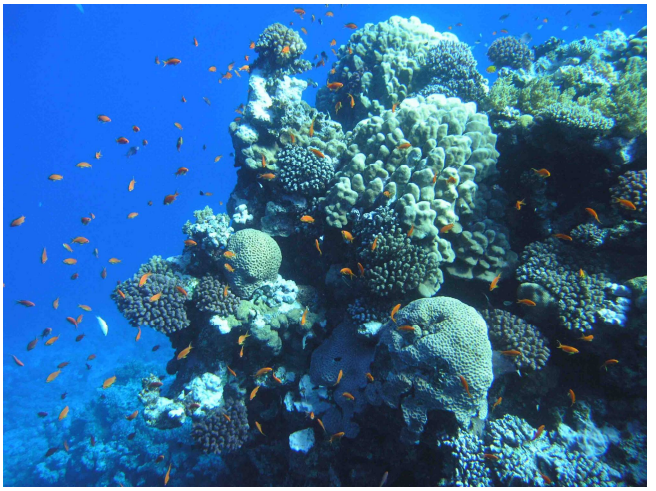

Abbildung 4: Ökosystem Korallenriff
Foto: S. Moldzio (2008)

Die Korallenriffe haben auch eine große **Bedeutung für uns Menschen,** über 400mio. Menschen sind in irgendeiner Weise von ihnen abhängig[4] : **Nahrungserwerb**, **Küstenschutz**, **Tourismus**, **Artenvielfalt** – den Wert der Artenvielfalt kann man vielleicht am besten als **Lebensversicherung für das Leben** auf der Erde umschreiben. Die genetische Vielfalt von heute ist die Grundlage für die zukünftige Evolution.

Ein **Ökosystem** besteht immer aus einem **Lebensraum** und einer **Lebensgemeinschaft.** Bei den Korallenriffen wird der ganze Lebensraum durch die Korallen selbst aufgebaut - sie schaffen ihren eigenen Lebensraum – für sich und die vielen anderen Lebewesen. Die Entstehung von tropischen Korallenriffen ist an bestimmte Faktoren gebunden:
Zunächst muß die Temperatur ganzjährig bei mindestens 20°C liegen. Das ist in den Tropen etwa im Bereich zwischen 30° nördlicher und südlicher Breite der Fall. Aber durch kalte und nährstoffreiche Meeresströmungen - z.B. an den Westküsten Südamerikas und Afrikas - konnten dort keine Korallenriffe entstehen. Je nach **Entstehungsweise** gibt es **verschiedene Rifftypen** [5].

Die **extrem nährstoffarmen Verhältnisse** und die **gleichzeitig enorme Produktivität** im Korallenriff erscheint zunächst als Widerspruch: Gelöst wird das Problem durch die innige Partnerschaft zwischen Alge und Tier, der **Zooxanthellen-Symbiose**:

Zooxanthellen - das sind einzellige Algen, die im Gewebe der Koralle leben. Diese Symbiose zwischen Koralle und Alge ist eine entscheidende Grundlage für die hohe Produktivität im Riff. Es liegt praktisch ein ganz besonders kurz geschlossener **Nährstoffkreislauf** vor: Die Alge benötigt Nährstoffe und baut organisches Material auf - die Koralle nutzt Letzteres und liefert der Alge ihre anorganischen Nährstoffe, z.B. CO_2, Phosphat oder Stickstoff-Verbindungen. Das perfekte Recycling. Diese enge Partnerschaft ist als Anpassung an die extreme Armut an anorganischen Nährstoffen entstanden und ermöglicht den tropischen Steinkorallen hohe Wachstumsraten. So gesehen sind die Korallenriffe Oasen in der „Blauen Wüste“[6].

Erst seit wenigen Jahrzehnten weiß man um die Existenz von **Kaltwasser-Riffen** in der Tiefsee. Hier liegen etwas andere Verhältnisse vor, z.B. besitzen die Korallen dort unten keine Zooxanthellen und sind komplett auf den Fang von Plankton und Detritus angewiesen. Das ist auch der Grund, warum diese Korallen wesentlich geringere Wachstumsraten besitzen, als ihre Verwandten in den tropischen Korallenriffen. Die Kaltwasserriffe sind in der letzten Zeit verstärkt ins öffentliche Interesse geraten, weil sie ganz besonders durch Raubbau und die zu erwartende Übersäuerung bedroht sind [7].

Die **Riffbildung** ist ein ungemein dynamischer Prozeß. Er umfasst beides: Aufbau und Abbau. Es gibt viele Organismen, die mit ihren Kalkskeletten zum Riffaufbau beitragen, die wichtigste Gruppe sind natürlich die Korallen. Daneben gibt es viele Prozesse, die zur Rifferosion beitragen. Riffwachstum ist also die **Bilanz aus Riffaufbau und Erosion**.

Ein **Atoll** entsteht z.B., wenn ein Vulkan im Laufe der Jahrtausende wieder im Meer versinkt. Das Saumriff, das an seiner Flanke entstanden ist, hält aber mit dem Absinken Schritt. Wenn der Berg komplett abgesunken ist, liegt ein ringförmiges Atoll mit einer zentralen Lagune vor[5].

Aber woher kommt nun die enorme Diversität?

Die Antwort auf diese Frage ist zunächst im **Prozeß der Artentstehung** zu suchen: Durch die Triebkräfte Mutation und Selektion entwickeln sich Arten weiter, eine neue Art entsteht, wenn sich eine **Population** über längere Zeit isoliert weiterentwickelt. Irgendwann sind die Populationen dann so verschieden, dass sie sich nicht mehr miteinander fortpflanzen können – eine neue Art ist entstanden[8]. Eine besondere Voraussetzung im Korallenriff für die Entstehung neuer Arten ist die fleckenförmige Verteilung der Riffe, was die **geographische Isolation von Populationen** begünstigt.

Die Korallenriffe sind ein unheimlich reich strukurierter Lebensraum und das auf verschiedenen Größen- und Zeitskalen. Die **abiotischen Faktoren**, z.B. Licht, Strömung, Sedimentation, Temperatur, liegen im Riff in unterschiedlichen Abstufungen vor. Auch die **biotischen Faktoren**, wie Nahrungsangebot, Freßfeinde, Konkurrenten sind nicht gleichverteilt, sondern immer unterschiedlich. Zusammen betrachtet liegen diese vielfältigen Faktoren in den verschiedensten Kombinationen vor[5].

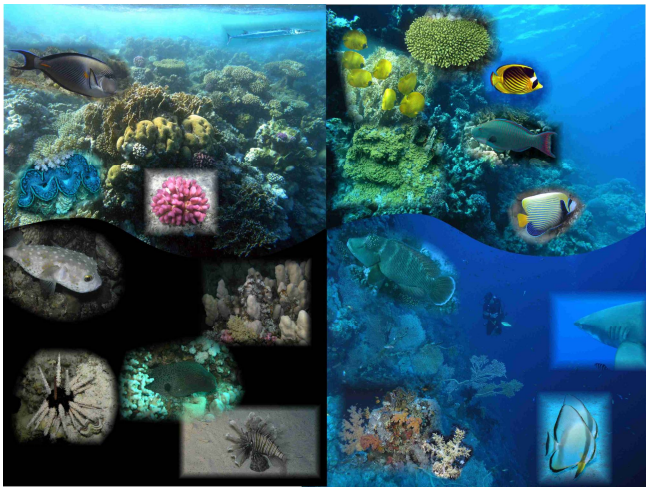

Abbildung 5: Zonierung im Korallenriff
Grafik: S. Moldzio (2008)

So gibt es im Ökosystem eine schier unbegrenzte Fülle von ganz **speziellen Planstellen**, die jeweils von der Art besetzt werden, die am besten an die spezifischen Verhältnisse angepasst ist. Zwischen Arten mit ähnlichen Lebensbedürfnissen gibt es einen ständigen **Überlebenskampf um Ressourcen**.

Spätestens seit „Findet Nemo“ kennt wohl jeder die **Symbiose** zwischen Anemonenfisch und Seeanemone. Der Fisch findet zwischen den Tentakeln Schutz und verteidigt selber todesmutig seine Anemone gegen polypenfressende Fische.

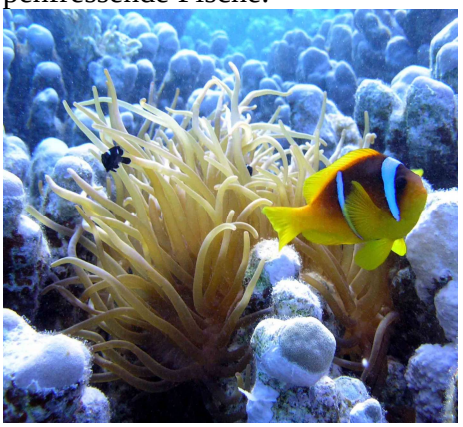

Abbildung 6: Vielfalt an Wechselbeziehungen
Foto: S. Moldzio (2008)

Ebenso bekannt ist die Symbiose zwischen Putzerfisch und seinen „Kunden“, die an den Putz-Stationen im Riff teilweise sogar Schlange stehen. Diese Putz-Symbiose ist ebenfalls **Ergebnis einer langen gemeinsamen Evolution** und ist ganz tief verankert: Ein Zackenbarsch würden den Putzer, der ihn von Parasiten befreit, niemals fressen, obwohl dieser von der Form her eigentlich „der ideale Happen für zwischendurch“ wäre...
Weit verbreitet sind auch **Parasiten**. Der Übergang zwischen Symbiose und Parasitismus ist oft fließend. Es gibt aber auch tausendfach andere Beziehungen zwischen Organismen, die nicht ganz so offensichtlich sein mögen[9].

Die **Grundlage der marinen Ökosysteme** bildet die **Primärproduktion der Algen**. Sie bilden die erste Ebene der **trophischen Pyramide**.

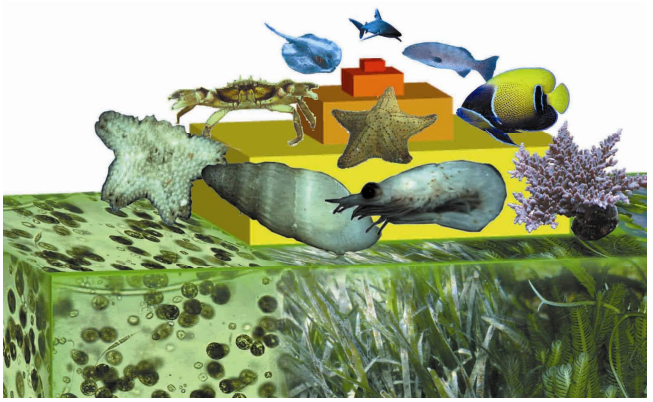

Abbildung 7: Trophische Pyramide
Grafik: S. Moldzio (2008)

Die 2. Ebene bilden die Primärkonsumenten, also alle Pflanzenfresser, die 3. Ebene bilden die Fleischfresser 1. Ordnung u.s.w.. In dieser Darstellung nimmt die Produktion von Ebene zu Ebene um den Faktor 10 ab. Die Produktion der obersten Ebene, des Hais, beträgt also nur noch ein 10.000stel der Primärproduktion der Algen. Für 1 kg Hai sind also 10t Phytoplankton erforderlich. Dieses Prinzip ist auch im Hinblick auf eine wachsende Weltbevölkerung von Bedeutung[10].

Haie gibt es schon seit mehreren hundert Mio. Jahren auf der Erde. Sie sind perfekt angepasste und sehr sensible **Räuber an der Spitze der Nahrungspyramide** und sie spielen in praktisch allen Ökosystemen eine wichtige Rolle: Sie kontrollieren die Bestände, eliminieren kranke und schwache Tiere[11].

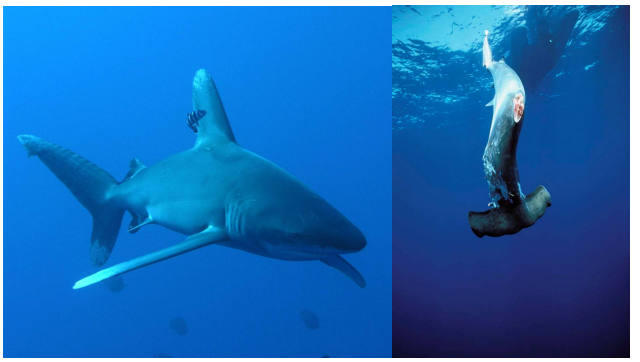

Abbildung 8: Haie – Sensible Räuber an der Spitze der Nahrungspyramide
Foto li: S. Moldzio (2008) Foto re: Jeffrey Rotman

Als Topräuber haben sie eine geringe Fortpflanzungsrate, was sie besonders anfällig für Überfischung macht. Viele Arten haben eine Generationszeit von 10 bis 20 Jahren und bekommen nur wenige Nachkommen.
Beim **Finning** werden den Haien bei lebendigem Leibe die Flossen abgeschnitten - der Torso zurück ins Meer geworfen. Die sogenannte Haifisch-Flossensuppe ist ein Prestige-Essen v.a. in China, für 1 kg Flossen werden 1500 $ bezahlt. Es winken Gewinnspannen höher als beim Rauschgifthandel. Jedes Jahr werden über 150 Mio. Haie getötet, die Bestände sind bei vielen Arten schon um über 90 % zurückgegangen, bzw. sind schon zusammengebrochen. Das Finning ist aber nur ein besonders drastisches Beispiel für einen **weit verbreiteten Umgang mit der Natur**: Es wird geraubt, was zu rauben ist, keine Brutalität und Zerstörung ist tabu, solange es Profit bringt. - Bis zum Zusammenbruch.

Folgen der Überfischung?
Wenn selektiv Großfische an der Spitze der Nahrungspyramide weggefangen werden, hat das natürlich Auswirkungen auf die darunter liegenden Ebenen. Wenn **Planstellen in einem Ökosystem** nicht besetzt werden, treten **Störungen im Gesamtsystem** auf. Es kann auch zu Massenvermehrungen bestimmter Organismen kommen. Letztendlich verändert sich das ganze Ökosystem[3] [12].
Die **heutigen Bedrohungen für die Korallenriffe** sind schon schlimm genug:
Überdüngung, Sedimenteintrag durch Flüsse, mechanische Zerstörung, z.B. durch Dynamitfischen oder durch die Gewinnung von Baumaterial, Ölverschmutzung, Überfischung, oder auch Massenvermehrungen von Dornenkronen-Seesternen setzen den Riffen heute schon schwer zu: 20% der Riffe sind bereits zerstört, weitere 24% stehen durch menschlichen Druck vor dem unmittelbaren Kollaps und weitere 26% sind längerfristig gefährdet[4]. Die **Sichtweise, die Ozeane seien unendlich und unerschöpflich** ist schlichtweg falsch.
Die **Degradation** hin zu einem zerstörten Korallenriff ist ein fließender Prozeß:
Eine erhöhte Nährstoff- und Sedimentationsbelastung führt zu einer **Artenverschiebung** und **abnehmender Diversität**. Wenn eine Art aus dem Gefüge verschwindet, ist es oft so, dass noch andere Arten gleich mit verschwinden. Mit abnehmender Diversität sinkt auch die **Widerstandskraft des Ökosystems gegen äußere Störungen**. Ein einmal eingetretener Zustand der Degradation wird langfristig stabil bleiben und ist nur umkehrbar, wenn die Störfaktoren über lange Zeit vollständig abgestellt sind[4].
Die **Ökosysteme geraten von allen Seiten unter Druck**, werden direkt zerstört und können nicht einfach irgendwohin ausweichen. Die zu erwartenden Folgen durch das **CO_2-Problem** haben noch mal eine ganz andere Qualität: Sie wirken global und universell und - sie sind mehr oder weniger unumkehrbar. Kein Wissenschaftler der Welt kann sagen, wie sich die Ökosysteme in Zukunft entwickeln werden. Allein dies gebietet es sofort und mit aller Kraft gegenzusteuern, wir haben nur eine Erde und es geht um unsere Lebensgrundlagen!

Die anthropogene Störung des Kohlenstoff-Kreislaufes und seine Auswirkungen auf die Korallenriffe

Das **CO_2-Problem** ist im Wesentlichen eine **tiefgreifende, vom Menschen verursachte Störung** des **natürlichen Kohlenstoff-kreislaufs**. Wenn wir verstehen wollen, was da gerade passiert, kommen wir nicht umher uns ein wenig mit Zahlen zu beschäftigen.

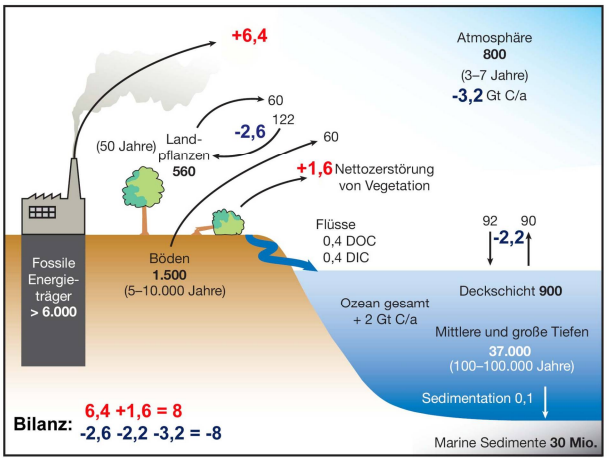

Abbildung 9: Kohlenstoff-Kreislauf
Grafik: WBGU (2006), verändert nach Schlesinger (1997) , Zahlen für „Bilanz“ aktualisiert nach IPCC (2007) für den Zeitraum 1990-1999

Fangen wir mit den **natürlichen Reservoirs** an: In den marinen Sedimenten sind 30 mio. Gigatonnen (1 Gt= 1 Milliarde Tonnen) Kohlenstoff (C) enthalten. Wenn man diesen C in CO_2 umrechnen will, muß man mit dem Faktor 3,7 mal nehmen.
In der Tiefsee sind noch mal 37.000 Gt C und in der Atmosphäre 800 Gt C. In den fossilen Energieträgern sind mindestens 6000 Gt C [3].
Jetzt kommt der Mensch: Durch die **Verbrennung fossiler Energieträger** wurden in den 90er Jahren jährlich 6,4 Gt C in die Atmosphäre gepustet (seit dem Jahr 2000 ist der Ausstoß weiter auf über 7 Gt C gestiegen). Dazu kommen noch 1,6 Gt aus **veränderter Landnutzung**, z.B. dem Abholzen der tropischen Regenwälder. Das macht insgesamt 8 Gt C = 30 Milliarden Tonnen CO_2, die jedes Jahr vom Menschen verursacht in die Atmosphäre gelangten[13]. Tendenz steigend.
Und wo bleibt das CO2?
Der eine Teil wird netto von der **Landvegetation** aufgenommen. Vom **Oberflächenwasser der Ozeane** wurde bisher etwa die Hälfte der Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger aufgenommen [14].

Die **Atmosphäre** schließlich wurde jedes Jahr um 3,2 Gt C angereichert, das entspricht etwa 12 Gt CO_2. Seit der vorindustriellen Zeit ist die **Konzentration des CO_2 in der Atmosphäre** dramatisch gestiegen, bisher um ca. 35% und jedes Jahr um weitere 0,5% (1995-2005: +1,9ppm/Jahr)[13].

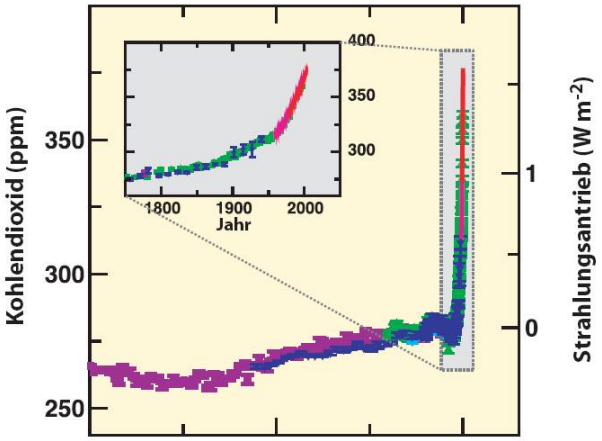

Abbildung 10: Anstieg der CO2-Konzentration in der Atmosphäre und der resultierende Strahlungsantrieb
Grafik: IPCC (2007)

Neben dem CO_2 gibt es noch andere **Treibhausgase**, wie das Methan und das Lachgas, deren Konzentration ebenfalls sehr stark ansteigt. Diese haben relativ gesehen einen noch viel stärkeren **Strahlungsantrieb** (oder „Aufheizeffekt", Einheit: W/m²) als das CO_2 – sie liegen jedoch in wesentlich geringeren Konzentrationen vor. Die Treibhausgase in der Atmosphäre bewirken, dass von dem einfallenden Sonnenlicht auf die Erde mehr Energie zurückgehalten wird. Durch sie wird also die **Energiebilanz des Klimasystems** verändert. Über 80% dieser zusätzlichen Wärmeenergie wurde bisher von den Ozeanen aufgenommen[13].

In den letzten 25 Jahren hat sich das Oberflächenwasser v.a. auf der Nordhalbkugel dramatisch erwärmt. Eine direkte Folge der **globalen Erwärmung** ist zunächst die **Intensivierung des Wasserkreislaufs**. Das merken wir recht deutlich an der **Zunahme der starken Wirbelstürme**, der **Veränderung der Niederschlagsmuster**, usw.. Ich glaube jeder von uns spürt schon selber, daß da mit dem Klima gerade etwas passiert. Die polaren Gebiete sind besonders stark betroffen, was zu einer rapiden Abnahme der Meereis-Bedeckung und zu einem **Abschmelzen des grönländischen Eisschildes** führt[13].

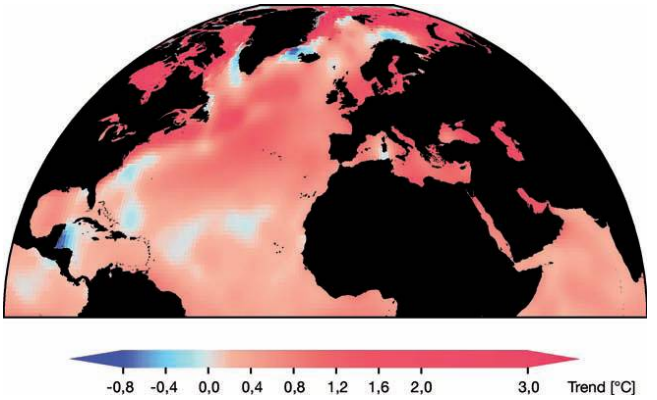

Abbildung 11: Erwärmung des Oberflächenwassers auf der Nordhalbkugel zwischen 1978 und 2002
Grafik: WBGU (2006), PIK nach Hadley Centre (2003)

Eine solche Erwärmung kann natürlich auch an den **Ökosystemen** nicht spurlos vorübergehen: Folge ist die **polwärtige Verschiebung von Verbreitungsgebieten**, die **Einwanderung von Arten** aus niederen Breiten und insgesamt auch eine **Veränderung der Artenzusammensetzung** in den Ökosystemen[3].

Bei Temperaturen über 30°C geraten Korallen zunehmend unter Streß: Ihre Zooxanthellen betreiben mit steigender Temperatur nämlich zuviel Photosynthese, so dass die Koralle aus Selbstschutz die Alge vor die Tür setzt. Die Koralle bleicht aus, ohne Symbiosealgen ist sie aber nicht lebensfähig und stirbt ab. 1998 wurden durch das bisher schlimmste **Korallenbleichen** über 20% der weltweiten Riffe zerstört. 1000jährige Korallenstöcke sind damals abgestorben. Mit steigenden Meerestemperaturen werden solche Ereignisse in Zukunft wahrscheinlich regelmäßig auftreten. Das übersteigt die Regenerationsfähigkeit der Riffe - selbst in den abgelegenen Gebieten, ohne sonstige menschliche Einflüsse[4].

Wie gesagt – knapp die Hälfte der menschlichen CO_2-Emissionen haben bisher die Ozeane aufgenommen. Vom Klima aus gesehen ist das scheinbar gut – aber das CO_2 reagiert im Ozean weiter: Vereinfacht gesagt zu Kohlensäure. Folge ist das **Absinken des pH-Werts** und damit der **Kalksättigung** – das Meer wird sauer. Dadurch wird es den kalkbildenden Meereslebewesen erschwert, ihre Skelette aufzubauen.

Seit der vorindustriellen Zeit ist der pH-Wert im Oberflächenwasser um durchschnittlich 0,1 gesunken. Schon für das Jahr 2065, in nicht einmal 60 Jahren, wird vorhergesagt, daß die

Ozeane für das Vorkommen von Korallenriffen bestenfalls bedingt geeignet sein werden. Dieses Problem der **Übersäuerung** stellt mittelfristig die **Existenz aller kalkbildenden Organismen** in Frage, und die sind wiederum ein grundlegender Bestandteil in praktisch allen Ökosystemen des Meeres. Die Folge wird also eine weitere globale Veränderung der marinen Ökosysteme sein[3].

Eine weitere Folge der globalen Erwärmung ist auch der **Meeresspiegelanstieg**. Einerseits durch die **Ausdehnung des erwärmten Wassers** und andererseits durch das **Abschmelzen der Gletscher und v.a. der polaren Eisschilde**. Das Schmelzen von Meereis trägt nicht zum Anstieg des Meeresspiegels bei.

Abbildung 12: Anstieg des Meeresspiegels
Grafik: Stephan Moldzio (2008)

Zur Zeit beträgt der Meeresspiegelanstieg etwa 3,1 mm/Jahr - Tendenz steigend[13]. Aus **paläoklimatischen Untersuchungen** weiß man, dass die Höhe des Meeresspiegels direkt von der globalen Durchschnittstemperatur abhängig ist. Vor 3 Mio. Jahren lagen die Temperaturen um etwa 2-3°C höher als heute - und der Meeresspiegel war etwa 30 m höher. In einer Prognose für das Jahr 2100 wird beispielsweise eine Temperaturerhöhung um 3°C vorausgesagt und ein Anstieg des Meeresspiegels um 1m. Nun ist es aber so, dass der Temperaturanstieg recht unmittelbar auf die steigenden CO_2-Konzentrationen erfolgt – das Abschmelzen der Polkappen dauert dagegen Jahrhunderte bis Jahrtausende. Ein komplettes **Wegschmelzen des arktischen Eisschildes**, würde einen Anstieg des Meeresspiegels um 7m bewirken[3]. Seit dem IPCC-Bericht von 2007 gibt es einige neue Berichte, dass das **Abschmelzen aufgrund dynamischer Prozesse** noch schneller als geglaubt geschieht, z.B. dass die polaren Gletscher aufgrund eines Schmiermittel-Effekts durch Schmelzwasser schneller ins Meer abfließen werden. Bei der gegenwärtigen Entwicklung ist das komplette Abschmelzen wohl nur noch eine Frage der Zeit, eben der Jahrhunderte. Der Eischild der Antarktis ist noch viel mächtiger und auch träger - wie er in Zukunft reagieren wird ist noch unklar.
Die **Folgen für die Ökosysteme** werden auch hier gravierend sein. Für die **Korallenriffe** stellt sich die Frage, ob das Riffwachstum Schritt halten kann mit einem Anstieg des Meeresspiegels um mehr als einen Meter pro Jahrhundert. Es gibt nämlich auch Beispiele für versunkene Atolle, bei denen der Berg schneller abgesunken ist, als das Riffwachstum Schritt halten konnte[5].

Zusammenfassung

Durch die Meereserwärmung, die Übersäuerung und später auch durch den Anstieg der Meeresspiegels werden die marinen Ökosysteme massiv betroffen sein, sie werden sich verschieben, verändern, ggf**.** degradieren oder zusammenbrechen. In welchem Maße das geschehen wird kann niemand sagen. Ob komplexe Ökosysteme wie die Korallenriffe auch in Zukunft weiter existieren können, hängt davon ab, ob sich die Lebewesen schnell genug an die Veränderungen anpassen können. Und vor allem ob es doch noch geschafft werden kann, die CO_2-Emissionen zu stoppen. Zur Zeit aber steigen diese aber jedes Jahr stärker an – das Ausmaß der verschiedenen Rückkopplungseffekte ist noch überhaupt nicht abzuschätzen.
Mit anderen Worten: Wir fahren gerade mit Vollgas gegen die Wand, kriegen das sogar mit – geben aber trotzdem weiter Gas!
Aus kurzfristigen Profitinteressen wird der Bremshebel blockiert, die Folgen tragen die Natur und zukünftige Generationen.
Zu den Rückkopplungseffekten: Neben den positiven, also selbstverstärkenden Rückkopplungseffekten – gibt es natürlich auch viele negative Rückkopplungen, wie z.B. den Dünge-Effekt auf die Pflanzen durch das CO_2. Das Ganze ist ungemein komplex.

Aber im Ergebnis wird noch mal oben drauf, zusätzlich zu den menschlichen Emissionen, eine Selbstverstärkung der globalen Erwärmung herauskommen: Der Rahmen für den zusätzlichen CO_2-Anstieg, nur aufgrund dieser Rückkopplungseffekte, wird mit 20 bis 224 ppm CO_2 bis zum Jahr 2100 angegeben[13]. Schon alleine diese Unvorhersehbarkeit und v.a. Unbeeinflussbarkeit dieser angestoßenen Entwicklung gebietet es sofort und entschlossen zu handeln! Wir befinden uns gerade in einer Situation, in der wir die möglichen Folgen schon recht gut absehen und noch gegensteuern können. Aber die Zeit drängt. Um es positiv auszudrücken: Je eher wir den fossilen Verbrennungswahnsinn stoppen, desto eher werden sich die Folgen begrenzen lassen.

Was tun?

Fangen wir doch erst mal bei uns selber an: Konsum, Energiesparen, Mobilität,....
Natürlich müssen wir uns auch bei uns selber und in unserem Umfeld darüber auseinandersetzen. Aber damit allein werden wir die **drohende Klimakatastrophe** nicht verhindern können.

Abbildung 13: Kohlekraft – Nein Danke!
Grafik: www.keine-kohle-kiel.de

Warum werden überhaupt noch neue Kohlekraftwerke gebaut?
Es wird behauptet, die **regenerativen Energien** wären noch nicht so weit und auch zu teuer und es müsse eine **Übergangssituation** überbrückt werden.
Können wir denn hoffen, daß die Regierungen und Konzerne das Klima-Problem doch noch in den Griff bekommen?
Also ich glaube, da sollten wir uns besser selber drum kümmern! Man muß sich einfach klar machen, dass in der **fossilen Energiebasis**, mitsamt aller Förder- und Produktionsanlagen, der nachfolgenden Industrie, der Infrastruktur, Verkehr, usw. Hunderte von Milliarden € investiert sind. Und welcher Unternehmer vernichtet schon freiwillig sein Kapital, zumal es auch noch äußerst gewinnträchtig ist? Mit Sicherheit keiner.
So wird denn immer behauptet, die **Lösung des Klimaproblems** sei ungemein komplex – das ist sie aber gar nicht. Komplex ist nur das Problem, wie man das Klima retten kann ohne dass die Rohstoff- und Energiekonzerne auf ihre Profite verzichten müssen!
Ich glaube, dass es auf jeden Fall möglich ist, die **drohende Klima- und Umweltkatastrophe** zu verhindern. Die Vorraussetzungen dafür sind gut: Die **technologischen Alternativen sind vorhanden** und auch das wissenschaftliche Verständnis. Der Schlüssel dafür liegt „nur“ in der Entwicklung einer wirklich konsequenten, schlagkräftigen und international vernetzten **Umweltbewegung**.
Ohne Probleme und mit nur geringen Kosten ließe sich schon heute innerhalb weniger Jahre unsere **komplette Energieversorgung auf eine regenerative Basis** stellen. Wir brauchen eine **Kreislaufwirtschaft**, die sich nicht nach dem Profit, sondern am **Vorbild der Stoffkreisläufe in der Natur** orientiert[15] [16]. Die Zukunft liegt vor uns, die modernsten Technologien stehen bereit – es liegt an uns ihnen zum Durchbruch zu verhelfen.

Literaturangaben

[1] Tardent, P. (1993) Meeresbiologie.
[2] Hempel, G., Hempel, I., Schiel, S. (2006) Faszination Meeresforschung
[3] WBGU (2006) Die Zukunft der Meere – zu warm zu hoch, zu sauer
[4] Wilkinson, C. (2004) Status of coral reefs of the world 2004, Volume 1
[5] Schuhmacher, H. (1991) Korallenriffe
[6] Veron, J.E.N. (1993) Corals of Australia and the Indo-Pacific
[7] Freiwald, A. et al. (2004) Cold Water Coral Reefs. Out of sight – no longer out of mind.
[8] Wehner, R., Gehring, W. (1995) Zoologie
[9] Schubert, R. (1991) Lehrbuch der Ökologie
[10] Sommer, U. (1998) Biologische Meereskunde
[11] Ritter, E.K. (2004) Mit Haien sprechen
[12] IPCC (2007) Climate change 2007 – Impacts, adaptation and vulnerability
[13] IPCC (2007) Climate change 2007 – The physical science base
[14] Sabine et al. (2004) The oceanic sink for anthropogenic CO_2
[15] VNW (2007) Ist die Erde noch zu retten?
[16] Jooß, C. (2007) Klimaschutz und Arbeitsplätze