



Michael F. Jischa

Dynamik in Natur und Technik

Wandel verstehen und gestalten

 oekom

Michael F. Jischa
Dynamik in Natur und Technik

Wandel verstehen und gestalten

ISBN 978-3-96238-040-3

348 Seiten, 14,8 x 21,0 cm, 28,- Euro

oekom verlag, München 2018

©oekom verlag 2018

www.oekom.de

29. Die Gefährdung der Ozeane

Seit der Industriellen Revolution hat sich der Ausstoß an Kohlendioxid kontinuierlich erhöht. Das zeigen eindeutig die Keeling-Kurve, die Informationen aus Eisbohrkernen und Bild 28.3. Das hat massive Folgen für die Ozeane, die einen großen Teil des Kohlendioxids speichern. Das mindert einerseits die Zunahme der Temperatur in der Atmosphäre, dieser Effekt ist positiv. Er hat jedoch für Lebewesen und Pflanzen in den Meeren katastrophale Folgen. Pflanzen und Tiere haben sich über Millionen von Jahren an ihre Umgebung angepasst, sie tolerieren ein gewisses Maß an Versauerung. Das Problem liegt darin, dass sich der Klimawandel und die Versauerung der Ozeane gegenseitig verstärken. Das führt zur Störung von Überlebensstrategien, zu Fortpflanzungsproblemen und zur Auflösung von Kalkskeletten, besonders deutlich bei den australischen Korallenriffen.

Der Zusammenhang zwischen der Temperaturzunahme in der Atmosphäre und der Versauerung der Ozeane ist seit langem bekannt. Die US-amerikanische Biologin Rachel Carson, Autorin des Bestsellers „*Der stumme Frühling*“ (1962), hat später das Buch „*Geheimnisse des Meeres*“ (1967) verfasst. Die Meeresschutz-Pionierin Elisabeth Mann-Borgese, jüngste Tochter des Literaturnobelpreisträgers Thomas Mann, hat „*Das Drama der Meere*“ (1982) und „*Mit den Meeren leben*“ (1999) publiziert. Das Buch „*Kranke Meere? – Verschmutzung und ihre Folgen*“ (1992) des Meeresbiologen Robert B. Clarke ist aus einer Vorlesung über Meeresverschmutzung entstanden. An jüngeren Publikationen nenne ich „*Wie bedroht sind die Ozeane?*“ (Rahmstorf u. Richardson 2007), sowie „*Das Ende der Ozeane – Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden*“ (Latif 2014). Aus den Gutachten des *Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen* (WBGU) nenne ich das Sondergutachten die „*Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer*“ (2006) und das Hauptgutachten „*Menschheitserbe Meer*“ (2013). Historiker haben diese Themen gleichfalls behandelt, exemplarisch nenne ich „*Zwischen Hafen und Horizont – Weltgeschichte der Meere*“ (North 2016).

Zu Beginn zitiere ich aus dem Buch von Mojib Latif, das in einer Rezension der FAZ vom 4.11.2014 als »packender Zustandsbericht zur Lage der Ozeane« beschrieben wurde. In dem Vorwort heißt es: »Dieses Buch über die Ozeane ist als Weckruf gedacht. Als Mahnung an uns alle, die Meere endlich zu schützen. Denn wir behandeln die Ozeane schlecht. So schlecht, dass

die Meere inzwischen ächzen. Und wir Menschen bürden ihnen immer mehr Lasten auf: Die Ozeane leiden unter dem Klimawandel, unter den Auswirkungen der globalen Erwärmung[...] Wir beuteln die Meere ohne Gnade aus. Ein prominentes Beispiel hierfür ist die Überfischung. Mit unseren modernen Fangmethoden haben wir die globalen Fischbestände in einer Größenordnung dezimiert, womit noch vor ein paar Jahrzehnten niemand gerechnet hätte. Man kann den Wert der Ozeane gar nicht hoch genug bemessen. Denn stirbt das Leben im Meer, verschwinden auch früher oder später die Menschen von diesem Planeten.«

In diesem Kapitel, das an Kap. 15 anknüpft, lehne ich mich an zwei Bücher an. An jenes von Latif (2014), das soeben in einer überarbeiteten Fassung unter dem Titel „*Die Meere, der Mensch und das Leben – Bilanz einer existenziellen Beziehung*“ (Latif 2017) erschienen ist. Daneben verwende ich das oben erwähnte Buch von Rahmstorf und Richardson (2007).

Unsere Erde ist ein Wasserplanet. Einen vergleichbaren Planeten gibt es in unserem Sonnensystem nicht, vermutlich auch nicht in anderen Sonnensystemen. Diese einzigartige Stellung des Planeten Erde ist dadurch gekennzeichnet, dass Leben entstehen konnte. Hierbei spielt das Wasser eine entscheidende Rolle, siehe Kap. 30. Es kommt nur auf der Erde in drei Aggregatzuständen vor. Die *gasförmige* Phase nennen wir Wasserdampf, der als Gas in der Luft – abgesehen von den Wolken – unsichtbar ist. Das Eis ist die *feste* Phase des Wassers, das als Gletscher in den Gebirgen, als kontinentale Eisschilde und als Meereis in den Polarregionen vorkommt. Als *flüssige* Phase befindet sich Wasser vor allem in den Ozeanen. Etwa 97 % des Wassers auf unserem Planeten befindet sich in den Meeren, etwa 2 % in polaren Eiskappen und Gletschern und knapp 1 % im Grundwasser, in Seen und Flüssen.

Die Weltmeere sind unvorstellbar groß, hierzu einige Daten: Die Meere bedecken 71 % der Erdoberfläche, das sind fast 362 Mio km². Die Ozeane sind im Schnitt etwa 3700 m tief, und deren Volumen beträgt 1370 Mio km³. Rund die Hälfte des Meeresbodens sind riesige flache Tiefseebenen, zwischen 3000 und 5000 m unter der Oberfläche gelegen. Sie sind mit Sedimenten besetzt. Darin sammelt sich alles an, was herabsinkt, bis vor einigen Jahren meist Produkte biologischer Aktivitäten. Die Tiefebenen werden von den Kontinentalabhängen begrenzt. Dort steigt der Meeresboden zu flachen Schelfmeeren bis auf etwa 100 bis 200 m Tiefe an, die – wie die Nordsee – die meisten Kontinente umgeben. Aus der Tiefsee ragen riesige Gebirgszüge empor, so der Mittelozeanische Rücken und große Unterwasservulkane. Letztere können sich bis über den Meeresspiegel erheben, wie in Hawaii. Tief eingeschnittene Gräben reichen bis gut 10.900 m hinab. Die Topographie der Meere ist durch die Plattentektonik bedingt, hervorgerufen durch

die Bewegungen der Ozeanplatten und der Kontinentalplatten der Erdkruste.

Zwei wichtige Zustandsgrößen der Wassermassen sind *Temperatur* und *Salzgehalt*. Die Oberflächentemperaturen hängen in erster Linie von der ungleichen Sonneneinstrahlung ab. In tropischen Breiten beträgt die Temperatur des Oberflächenwassers rund 30 °C, während die Temperatur an den Polen in der Nähe des Gefrierpunktes liegt, bei Salzwasser -2 °C. Das wärmsste Wasser im offenen Meer befindet sich an der Oberfläche des westlichen tropischen Pazifiks. Noch wärmeres Wasser gibt es im Sommer in einigen flachen Küstenbereichen. Die Sonne bestrahlt nur die Oberfläche der Weltmeere. Der größte Teil des Meerwassers ist sehr kalt, mehr als 80 % sind kälter als 5 °C. In den polaren Breiten sinkt Oberflächenwasser ab, dieses kalte Wasser füllt weltweit die Tiefsee. Das warme Wasser der Tropen und Subtropen ist leicht und bildet eine dünne Oberflächenschicht von wenigen 100 m, die auf dem kalten Tiefseewasser schwimmt.

Wie kommt es zu dem unterschiedlichen Salzgehalt? Der Wasserkreislauf schwemmt ständig Partikeln vom Land ins Meer. Fällt Regen auf Felsen oder andere Oberflächen, so werden Mineralien gelöst. Dadurch transportieren die Flüsse große Mengen Salz ins Meer. Wenn das Wasser an der Oberfläche verdunstet, bleiben die Salze zurück. Dadurch ist die Salzkonzentration im Meer wesentlich höher als im Flusswasser. Sie steigt bis auf ein Niveau, wo genauso viel Salz ausfällt wie ständig nachkommt. Dadurch stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein.

Etwa 85 % der gelösten Substanzen im Meerwasser sind Chlorid und Natrium, das sind die Bestandteile des Kochsalzes. Der durchschnittliche Salzgehalt des Meerwassers beträgt 35 g pro kg Wasser, das sind 3,5 %. Meist wird von 35 Promille gesprochen, ähnlich wie bei der Messung des Alkoholgehalts im Blut. Unterschiede in dem Salzgehalt, genannt *Salinität*, resultieren aus der Differenz der Quellen und Senken. Eine hohe Salinität liegt dort vor, wo die Verdunstung die Niederschläge übersteigt. Beispiele sind das Rote Meer und der Persische Golf mit Werten von 4 %, das Tote Meer – ein Binnenmeer – ist noch wesentlich salzhaltiger. Der umgekehrte Fall liegt in der Ostsee vor, dort bringen Regenfälle und Flüsse mehr Süßwasser ein als verdunstet. Die Salinität liegt bei 0,5 % vor der Küste Finnlands und 1,5 % im Skagerak.

Wir kommen nun zum eigentlichen Thema „*Das Ende der Ozeane*“ (Latif 2014), anders formuliert „*Wie bedroht sind die Ozeane?*“ (Rahmstorf und Richardson 2007). Der WBGU hat zu dem Thema zwei eingangs erwähnte Publikationen veröffentlicht, auf die ich mich gleichfalls beziehe: „*Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer*“ (WBGU 2006) und „*Menschheitserbe Meer*“ (WBGU 2013). Ich beginne mit der *direkten* Verschmutzung der Ozeane durch die Menschen, hervorgerufen durch das Einbringen von *Erd-*

öl, Radioaktivität und Plastik und den möglichen Folgen. Die Liste der durch technische Katastrophen hervorgerufenen Umweltschäden ist nahezu endlos.

Die Explosion der Ölplattform Deepwater Horizon des BP-Konzerns im Golf von Mexiko im April 2010 war der bislang größte Erdölunfall. Es dauerte 88 Tage, bis das austretende Öl gestoppt wurde. Die Menge der vom 20. April bis 16. Juli 2010 aus dem Bohrloch in 1500 m Tiefe ausgetretenen Ölmenge wird auf 500 bis 1000 Millionen Liter beziffert. Ähnlich große Ölmengen, etwa 500 Millionen Liter, traten 1979 im Golf von Mexiko beim Blowout einer Bohrplattform vor der Küste von Yucatan aus. Bei dem Unfall des Tankers Exxon Valdez, der 1989 auf ein Riff vor der Küste Alaskas gelaufen war, liefen 42 Millionen Liter Rohöl aus. Das reichte aus, um das empfindliche Ökosystem in den Gewässern vor Alaska und dessen Küste massiv zu schädigen. Über 2000 km Küste waren mit Öl verseucht worden. Hunderttausende Fische, Seevögel, Wale und andere Tiere starben als direkte Folge des Unfalls. Nach der Ölkatastrophe brach die Fischereiwirtschaft in der Region zusammen, bis heute haben sich die Bestände an Hering und Lachs kaum erholt. Für eine Ölpest im Nigerdelta war der Shell-Konzern verantwortlich. Nach Schätzungen sind bis zu zwei Millionen Liter Öl ins Nigerdelta geflossen. Das bewegt sich in einer Größenordnung, als hätte die Region in den letzten 50 Jahren eine Ölpest im Ausmaß des Exxon Valdez Tankerunglücks einmal pro Jahr erlebt.

Seit dem Atomunfall im japanischen Fukushima im März 2011 ist deutlich, dass die Menschen die Ozeane mit radioaktiven Stoffen verschmutzen. Fukushima war der traurige Höhepunkt der nuklearen Katastrophen seit Beginn der zivilen Nutzung der Kernenergie. Niemals zuvor war so viel Radioaktivität infolge eines Unfalls über die Luft oder durch Abwässer unmittelbar ins Meer gelangt. Unabhängig davon ist die atomare Verseuchung der Meere seit vielen Jahren die Regel. Dazu gehören die Atombombentests der USA im tropischen Westpazifik. Das Bikini-Atoll war Schauplatz von 67 Kernwaffentests während der 1940er und 1950er Jahre. Die Ureinwohner wurden zuvor umgesiedelt. Es ist unklar, wann und ob das Bikini-Atoll wieder besiedelt werden kann. Frankreich hat Atomwaffen auf Mururoa im Westpazifik getestet. Insgesamt detonierten dort fast 200 Atombomben, zunächst in der Atmosphäre, später unterirdisch. Russland hat an dem atomaren Wettrennen teilgenommen und weit über 100 Kernwaffentests auf einer Insel im Nordpolarmeer durchgeführt. Neben den Tests ist es auch immer wieder zu Unfällen beim normalen militärischen Umgang mit der Kernenergie gekommen, die zu ungewollten Einbringungen radioaktiver Stoffe ins Meer geführt haben.

Noch bis in die 1990er Jahre haben viele Staaten ihren Atommüll einfach im Meer entsorgt in der Hoffnung, dass die radioaktiven Stoffe damit ver-

dünnt und ungefährlich würden. Niemand weiß genau, was alles in den Fässern auf dem Meeresgrund an radioaktivem Material schlummert. Es gibt Hinweise darauf, dass einige der Fässer schon leck sind, inzwischen wurden Spuren des extrem giftigen Plutoniums gefunden. Der Atommüll am Meeresgrund ist neben der Ölverschmutzung eine weitere tickende Zeitbombe in den Ozeanen, deren Konsequenz und Stärke wir nicht kennen. Die Verklappung von Atommüll ist zwar inzwischen weitgehend verboten, aber die Wiederaufbereitungsanlagen dürfen weiterhin radioaktive Abwässer in die Meere einleiten. Ziel der Wiederaufbereitung ist es, Plutonium zu gewinnen, eine hochgiftige Substanz. Die beiden Wiederaufbereitungsanlagen in Sellafield (GB) und La Hague (F) haben durch technische Pannen mehrfach für Schlagzeilen gesorgt.

Das dritte Problem ist die direkte Verschmutzung der Weltmeere durch Plastikmüll. Rohöl ist der Ausgangsstoff für Kunststoffe, die zunehmend unser Leben begleiten. Rund 5 % der weltweiten Ölproduktion wird dafür genutzt. Umgangssprachlich verwendet man für das Wort Kunststoff den Sammelbegriff Plastik. Weltweit werden jährlich rund 200 Millionen t Kunststoff produziert, eine beträchtliche Menge davon landet irgendwann in den Ozeanen. Über die Geschichte der quietschenden Plastikentchen, die viele Jahre mit den Meeresströmen rund um den Ozean reisten, ist vielfach berichtet worden. Das unter griechischer Flagge fahrende Containerschiff Tokio Express geriet im Januar 1992 im Pazifik auf dem Weg von Hongkong nach Tacoma (USA) in einen schweren Sturm. Das Schiff verlor drei Container, gefüllt mit 29 000 Spielzeugtieren aus Plastik. Diese wurden ins Meer gespült, darunter gelbe Enten, grüne Frösche und blaue Schildkröten. Die ins Meer gefallenen Plastiktierchen haben den US-amerikanischen Ozeanforscher Curtis Ebbesmeyer fasziniert, denn er interessierte sich für Meeresströmungen. Er führte Simulationen mit Computermodellen durch, um die Wege der Spielzeugtiere nachzuvollziehen. Dadurch konnte er die Güte der Ozeanmodelle überprüfen.

Seine Ergebnisse zeigten, dass die Modelle in der Lage waren, die Routen der Plastiktiere vorherzusagen. Seinen Nachforschungen zufolge erreichten viele davon Australien und Indonesien, einige Chile. Sie folgten damit den bekannten Strömungen des Pazifiks. Im Nordpazifik selbst gibt es einen gegen den Uhrzeigersinn rotierenden mächtigen Subpolarwirbel, der zwei bis drei Jahre für einen Umlauf benötigt. Seitlich davon befinden sich im Uhrzeigersinn drehende riesige Subtropenwirbel. Die ersten Plastiktiere erreichten nach sieben Monaten die Küste Alaskas. 1995 drifteten sie vom Beringmeer durch die Beringstraße ins Nordpolarmeer. Sie passierten die Ostküste Grönlands, wurden auf den Hebriden und schließlich gar an der südenglischen Grafschaft Devon gesichtet.

Auch wenn diese Geschichte zum Schmunzeln anregt, so hat sie einen ernsten Hintergrund. Seit knapp 50 Jahren akkumulieren größere Plastikteile und Mikroplastik aufgrund ihrer Langlebigkeit an Stränden, an entlegenen Regionen, in der Tiefsee und in großen ozeanischen Wirbeln. Der Eintrag von Plastikmüll ist zu einem gravierenden Umweltproblem geworden. Die Auswirkungen größerer Plastikteile auf Meeresorganismen und Umwelt sind bekannt, Informationen darüber werden vielfach durch Umweltschutzorganisationen an die Öffentlichkeit gebracht. Bilder von in Fischernetzen oder Plastikteilen strangulierten und ertrunkenen Delphinen, Robben, Schildkröten, Haien und verendeten Vögeln rütteln auf. Neben Todesfällen sind häufig Verletzungen zu beobachten. Oder die Tiere – vor allem Seevögel – verschlucken Plastikteile, was Mangelernährung oder Verstopfung zur Folge haben kann. Über die Wirkung von Mikroplastik in der marinen Umwelt und in Meeresorganismen wie auch über deren Verbleib ist noch nicht viel bekannt, es wurde jedoch in den Geweben verschiedener Meerestiere nachgewiesen. Mikroplastik kann giftige Substanzen an sich binden, die in der Nahrungskette akkumulieren und zur Schädigung der Tiere und letztendlich des Menschen beitragen.

Plastikmüll in den Ozeanen ist ein weltweites Problem. Nach einer Studie in der Zeitschrift Science Anfang 2015 gelangten im Jahr 2010 etwa 8 Millionen t Plastikmüll in die Ozeane, Tendenz steigend. Größere Plastikteile sammeln sich in einigen Strömungswirbeln der Ozeane und führen zu erheblichen Verdichtungen in bestimmten Meeresregionen. In den Meeren treibender Plastikmüll wird durch Wellenbewegungen und die ultraviolette Strahlung nach und nach zerkleinert, bis hin zur Pulverisierung. Das Plastikpulver wird von verschiedenen Meeresbewohnern und auch vom Plankton an Stelle der üblichen Nahrung aufgenommen. Angefangen vom Plankton steigen die Plastikpartikeln, an denen auch giftige und krebsverursachende Chemikalien wie DDT und polychlorierte Biphenyle anhaften können, in der Nahrungskette weiter auf. So gelangt der Plastikmüll mit den angelagerten Giftstoffen auch in unsere Lebensmittel.

Eine Studie für das World Economic Forum 2016 beschreibt die Plastikwirtschaft als archetypische Linearwirtschaft. Weit entfernt von einer idealen Kreislaufwirtschaft werden danach nur 2 % der jährlichen Produktion bei gleichbleibender Qualität *recycelt*, weitere 8 % werden in einer Kaskade *downcycelt*. Ein hoher Anteil der weltweiten Plastikproduktion wird weder deponiert noch verbrannt, sondern verlässt das System unkontrolliert nach der Nutzung. Das Verbot von Plastiktüten in Deutschland ist ein erfolgversprechender Ansatz, weitere Maßnahmen müssen folgen. In der Forschung wird ein Ansatz verfolgt, biologisch abbaubare Kunststoffe zu verwenden.

In der Fachwelt wird dabei allgemein von *anthropogener Verschmutzung* gesprochen. Dazu gehören neben Plastik auch Chemikalien und Schwermetalle ebenso wie die oben behandelten radioaktiven Stoffe. Diese gelangen seit langem durch land- und seeseitige Quellen und durch den Eintrag aus der Atmosphäre in die marine Umwelt. Flüsse transportieren Chemikalien und Abfälle aus Industrie, Haushalten und Landwirtschaft in die Meere, durch Offshore-Öl- und Gasförderung und den Schiffsverkehr werden Schadstoffe und Müll in die Meere eingetragen.

Neben den *direkten* Effekten auf die Meere gibt es zahlreiche *indirekte* Effekte. Der globale Klimawandel ist eine Realität, und er hat in besonderer Weise Auswirkungen auf die Ozeane. Der Titel „*Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer*“ eines Sondergutachtens des WBGU (2006) drückt dieses prägnant aus. Das Sondergutachten schließt mit fünf Botschaften ab:

Meeresumwelt durch Klimaschutz bewahren: Die Zukunft der marinen Umwelt wird entscheidend davon abhängen, ob sich der menschengemachte Klimawandel auf ein tolerierbareres Maß begrenzen lässt. Wegen geophysikalischer Verzögerungseffekte wird die Klimaschutzpolitik der nächsten Jahrzehnte den zukünftigen Zustand der Meere bestimmen. Zur Vermeidung gefährlicher Klimaänderungen sollte der mittlere Anstieg der Lufttemperatur auf 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Wert begrenzt werden. Anmerkung: Dieser Wert ist bei den Weltklimakonferenzen in Paris 2015, Marrakesch 2016 und Bonn 2017 bekräftigt worden.

Widerstandsfähigkeit der Meeresökosysteme nachhaltig stärken: Fischbestände und Korallenriffe werden ihre Produktivität und Vielfalt nur dann bewahren können, wenn weltweit für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Meeresressourcen gesorgt wird. Angesichts der wachsenden direkten und indirekten Belastungen durch die anthropogenen Treibhausgasemissionen kommt dem ökosystemaren Ansatz (der in dem WBGU-Text erläutert wird) für Schutz und Nutzung der marinen Umwelt eine immer größere Bedeutung zu. Dazu müssen die international bereits vereinbarten Einrichtungen von Meeresschutzgebieten vorangetrieben und Regelungslücken auf See durch entsprechende Abkommen im Rahmen der Seerechtsübereinkommen geschlossen werden.

Meeresspiegelanstieg begrenzen und Strategien des Küstenzonemanagements neu ausrichten: Die bisherigen Ansätze für Schutz und Nutzung der Küstengebiete werden dem klimagetriebenen Meeresspiegelanstieg und der zunehmenden Zerstörungskraft von Hurikanen nicht mehr gerecht. Dabei sollten insbesondere die Belange von Küsten- und Naturschutz besser verknüpft und die von Anpassungs- oder Umsiedlungsmaßnahmen betroffene Bevölkerung in die Planung und Umsetzung einbezogen werden.

Innovative völkerrechtliche Instrumente für den Umgang mit Meeresflüchtlingen vereinbaren: Bisher besteht für keine Nation die völkerrechtliche Pflicht zur Aufnahme von Migranten, deren Lebensumfeld durch klimaverursachte Überflutung verloren gegangen ist. Langfristig wird die Staatengemeinschaft das Problem der Meeresflüchtlinge nicht mehr ignorieren können und entsprechende Instrumente zur gesicherten Aufnahme der Betroffenen entwickeln müssen. Anmerkung: Der Text wurde 2006 veröffentlicht, heute sprechen wir generell von Flüchtlingen, die aus unterschiedlichen Gründen ihre Heimat verlassen. Sinnvoll ist eine faire Lastenverteilung, bei der sich die Staaten verbindlich verpflichten, für diese Menschen Verantwortung zu übernehmen.

Versauerung der Meere rechtzeitig stoppen: Die Meere spielen eine zentrale Rolle beim anthropogenen Treibhauseffekt, und das in zweifacher Weise. Bis heute haben die Meere etwa 50 % der CO₂-Emissionen aufgenommen. Dieser Effekt ist positiv, denn ohne diese Senkenwirkung würde die Temperatur in der Atmosphäre noch stärker ansteigen. Der negative Effekt liegt darin, dass es einen Zusammenhang zwischen der Zunahme des CO₂-Gehalts in den Meeren und der Versauerung gibt, ausgedrückt durch den pH-Wert. Bei weiter steigenden CO₂-Werten leiden immer mehr Meerestiere wie die Austern. Auch die tropischen Korallenriffe sind zunehmend bedroht. An der Küste Australiens ist deren Schwund bereits deutlich sichtbar. Nach Mojib Latif gelten die Warmwasserkorallenriffe in den tropischen Gewässern mit ihrer enormen Artenvielfalt und ihrer Bedeutung für das Ökosystem Meer als Regenwälder der Meere. Nach Schätzungen sind in den riesigen Ökosystemen wie dem Great Barrier Reef vor der Ostküste Australiens annähernd eine Million Arten zu Hause: Pflanzen, Säuger, Reptilien, Fische, Würmer, Krebse, Weichtiere und Mikroorganismen. Die Korallenriffe schützen zudem die Küsten der Inseln und des Festlandes vor Schäden durch tropische Wirbelstürme wie Hurrikane und Taifune. Die Artenvielfalt wird wegen der Ozeanversauerung deutlich zurückgehen.

„Ein Preisschild für das größte Riff der Erde“ lautet die Überschrift eines Artikels in der FAZ vom 27.6.2017. Ökonomen der Unternehmensberatung Deloitte haben den finanziellen Wert des gefährdeten Weltkulturerbes Great Barrier Reef berechnet. Sie haben den größten lebenden Organismus der Erde mit einem Preisschild versehen und dessen Wert auf 56 Milliarden australische Dollar (38 Milliarden €) geschätzt. Das ist mehr als das Fünffache des Börsenwertes der australischen Fluggesellschaft Qantas Airways und das Zwölffache der Oper in Sydney. Das als Welterbe eingestufte Korallenriff erstreckt sich über 2300 km entlang der Ostküste Australiens. Der biologische Wert des Riffs steht außer Frage. Mehr als 1700 Fischarten leben hier. Auch hängen an ihm 64.000 Arbeitsplätze in einem Land mit 24 Millionen Einwoh-

nern. Das trifft den Tourismus, allein der Wert der Marke Barrier Reef wird auf etliche Milliarden australische Dollar geschätzt. Das Riff leidet schwer unter dem Klimawandel mit der Erwärmung der Meere, der zur Korallenbleiche führt, den Abflüssen der Agrarindustrie in den Küstenregionen, den Zyklonen und der Epidemie giftiger Dornenkronenseesterne. »Unser Riff ist bedroht wie niemals zuvor. Zwei Jahre in Folge mit einer weltweiten Korallenbleiche hat es noch nie gegeben, und das immer extremere Wetter und die Wasserqualität belasten die Gesundheit des Riffs weiter«, so der Vorsitzende der Stiftung, die die Studie in Auftrag gab. Direkt vom Riff sind 39.000 Arbeitsplätze abhängig, im Vergleich dazu 26.000 bei Qantas und 19.000 in der gesamten Öl- und Gasförderung Australiens. Viele Australier halten den geplanten Abbau von Bodenschätzten im Hinterland des Riffs für die größte Bedrohung.

Weitere Probleme sind die Überfischung der Fischbestände und die Abnahme der Artenvielfalt und Biodiversität (Kap. 18). In diesem Kapitel haben wir über Meere gesprochen, im nächsten Kapitel wird es um die Ressource Süßwasser gehen.

30. Die Ressource Wasser

»Die Welt-Süßwasser-Reserven geraten durch Übernutzung und Verschmutzung zunehmend unter Druck. Bevölkerungswachstum, wachsende wirtschaftliche Aktivitäten der Bevölkerung sowie verbesserte Lebensbedingungen führen zur verstärkten Konkurrenz und zu Konflikten um die begrenzten Süßwasserressourcen. Eine Kombination aus sozialem Ungleichgewicht sowie ökonomischer Marginalisierung bei gleichzeitig fehlenden Programmen zur Bekämpfung der Armut und zur Kontrolle des Bevölkerungswachstums zwingen die Ärmsten dazu, Böden und Wälder über die Grenzen ihrer Tragfähigkeit hinaus auszubeuten, was oft negative Auswirkungen auf die Wasserressourcen nach sich zieht. Abschätzungen zeigen, dass heute etwa ein Drittel der Weltbevölkerung unter Bedingungen leben, die durch mittleren bis starken Wasserstress gekennzeichnet sind. Es ist zu erwarten, dass sich dieser Anteil bis 2025 auf zwei Drittel ausweiten wird.« Diese Aussage von „*Global Water Partnership*“ (2000) aus „*Wie lange reicht die Ressource Wasser?*“ (Mauser 2007) mit dem Untertitel „*Der Umgang mit dem blauen Gold*“ führt in das Kapitel ein.

Mauser beschreibt die außergewöhnlichen Eigenschaften des Wassers und stellt die Frage: »Warum ist Wasser in flüssiger Form ein so entscheidender Faktor für das Verständnis der Sonderrolle, die die Erde im Planetensystem einnimmt?« Das wird deutlich, wenn man die Position der Erde und der anderen Planeten in einem *Phasendiagramm* darstellt, Bild 30.1. Wird der Druck über der Temperatur aufgetragen, dann ergeben sich für die Substanz Wasser drei Bereiche: Eis, flüssiges Wasser und Wasserdampf. Die Erde ist der einzige Planet unseres Sonnensystems, der im Bereich des flüssigen Wassers liegt. Auf keinem anderen Planeten unseres Sonnensystems tritt Wasser in flüssiger Form auf. Genau diese Voraussetzungen sind für eine auf Kohlenstoff basierende Lebenswelt notwendig.

Der Dampfdruck von Wasser nimmt mit steigender Temperatur zu. Die Dampfdruckkurve trennt die Bereiche flüssiges Wasser vom Wasserdampf. Nur für die auf der Dampfdruckkurve liegenden Wertepaare Druck p und Temperatur T können die flüssige und die dampfförmige Phase nebeneinander existieren. Oberhalb der Kurve kommt der Stoff nur in flüssiger und unterhalb nur in dampfförmiger Phase vor. In ähnlicher Weise kann man eine Schmelzdruckkurve zeichnen, die die Grenzlinie zwischen der festen und der flüssigen Phase darstellt (im Bild gestrichelt). Schließlich gibt es eine Sub-

limationsdruckkurve, die die Sublimation – den unmittelbaren Übergang aus der festen in die gasförmige Phase – kennzeichnet. Alle drei Kurven treffen sich in einem Punkt, dem *Trielpunkt*. Die Koordinaten des Tripelpunktes eines Stoffes geben den Druck und die Temperatur an, bei der die feste, flüssige und gasförmige Phase nebeneinander existieren.

Bild 30.1 zeigt nicht nur das Phasendiagramm von Wasser, sondern zusätzlich die Position der Planeten unseres Sonnensystems. Man erkennt, dass nur auf der Erde Wasser im flüssigen Zustand existiert. Die Atmosphäre der Venus ist zu heiß, die anderen Planeten sind zu kalt. Das Leben auf der Erde ist nicht nur wegen dieser ungewöhnlichen Eigenschaften eng mit dem Wasser verzahnt.

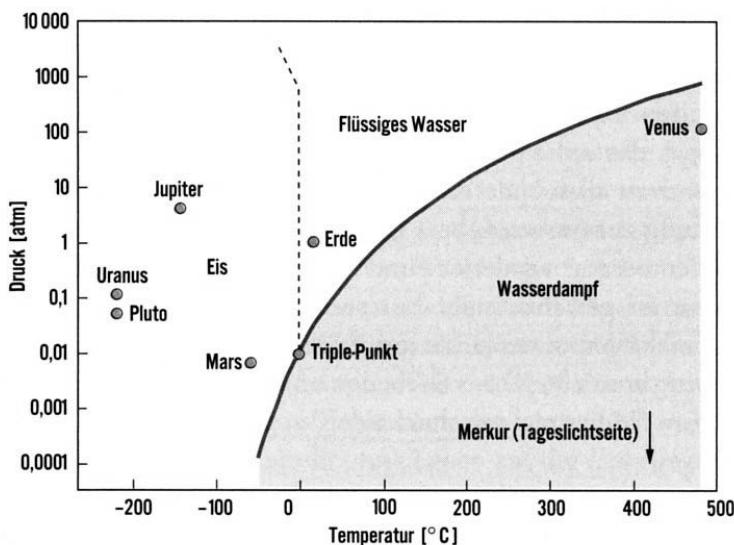


Bild 30.1 Phasendiagramm des Wassers, aus „Wie lange reicht die Ressource Wasser?“ (Mauser 2007)

Eine entscheidende Eigenschaft des Wassers hat das Leben auf der Erde erst möglich gemacht. Dabei handelt es sich um die *Dichte-anomalie* des Wassers, das seine größte Dichte bei 4 °C erreicht (Kap. 15). Alle anderen bekannten Stoffe ziehen sich beim Abkühlen zusammen. Das Wasser dehnt sich unterhalb dieser Temperatur wieder aus und wird spezifisch leichter. In den Tiefen der Meere und Seen herrscht damit eine konstante Temperatur von 4 °C. Diese Konstanz ist für das Leben, das im Meer entstanden ist, unerlässlich. Stellen wir uns vor, Wasser würde diese Dichte-anomalie

nicht aufweisen. Dann würde Wasser an der Oberfläche zu Eis gefrieren, das schwerere Eis würde zu Boden sinken und die Seen würden vom Boden her zufrieren. Damit hätte kein Leben im Wasser entstehen können.

Für das Leben auf der Erde ist der Wasserkreislauf eine grundlegende Voraussetzung. Aufs engste sind damit die Kreisläufe von Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und Schwefel verbunden. Sie alle sind an den Lebensprozessen beteiligt. Dieses ausgeklügelte Lebenserhaltungssystem der Erde sorgt für die Klimatisierung, indem die Temperatur der Erde in für das Leben akzeptablen Grenzen gehalten wird. Die Wasserversorgung wird über Niederschläge sichergestellt, damit werden Pflanzen mit Kohlendioxid, Wasser und Nährstoffen und Tiere mit Sauerstoff, Wasser und Proteinen versorgt. Über geologische und biologische Prozesse werden Gesteine aufbereitet und damit Nährstoffe freigesetzt, so dass Bakterien Stoffwechselabfälle abbauen und damit das Wasser reinigen, dass laufend eine Ozonschicht aufgebaut wird, die vor zu viel ultravioletter Strahlung schützt und nicht zuletzt dafür, dass sich die Lebewesen ständig durch Mutationen an die wandelnden Lebensbedingungen anpassen und so die notwendige Vielfalt hervorbringen.

Diese Prozesse haben dafür gesorgt, dass es in der Zeitspanne der letzten 2,7 Milliarden Jahre ständig Leben auf der Erde gegeben hat. Die Funktionsfähigkeit der Lebenserhaltungssysteme der Erde ist das wertvollste Gut, das es zu erhalten gilt. Nach Mauser hat die Forschung der letzten Jahre gezeigt, dass das Vorkommen von Wasser auf der Erde in flüssiger Form und das Entstehen eines Wasserkreislaufs kein Zufall ist. Es ist Ausdruck eines dynamischen Gleichgewichts, das sich im Laufe der Evolution eingestellt hat und das ursächlich durch die Wechselwirkung des Lebens mit den nicht-belebten Prozessen auf der Erde geschaffen wurde. Unter der Annahme, dass kein Leben auf der Erde existiert, konnte gezeigt werden, dass für die Erde nur zwei energetisch stabile Zustände existieren können, gleichwohl auf sehr unterschiedlichen Temperaturniveaus, Bild 30.2.

In dem ersten Gleichgewichtszustand sind alle Treibhausgase wie CO₂ und Wasserdampf aus der Atmosphäre ausgefroren. Die weißen Eisflächen, die weite Teile der Erde bedecken, reflektieren die Sonnenenergie fast völlig. Das würde zu einer starken Abkühlung der Erde auf etwa -90 °C führen. Nur die Sonne sorgt dafür, dass sich die Erde nicht auf die Temperatur des absoluten Nullpunkts von -273 °C abgekühlt. Der zweite Gleichgewichtszustand der Erde ist durch die größtmögliche Wirkung der Treibhausgase Wasserdampf und CO₂ gekennzeichnet. Er wird dadurch erreicht, dass sämtliches Wasser nur in Form von Wasserdampf in der Atmosphäre vorkommt und damit als Treibhausgas wirken kann. Das über Vulkane freigesetzte CO₂ reichert sich in der Erdatmosphäre an, da es auf einer leblosen Erde keine Abbauprozesse für CO₂ geben würde. Das führt zu einer weiteren Verstär-

kung des Treibhauseffektes. Es würde sich ein stabiles Gleichgewicht auf der Erdoberfläche von etwa 310 °C einstellen. Bei beiden (hypothetischen) Zuständen des Erdsystems würden weder ein Wasserkreislauf noch ein Kohlenstoffkreislauf existieren. Beide Zustände wurden von der Erde nicht verwirklicht. Was war der Grund dafür?

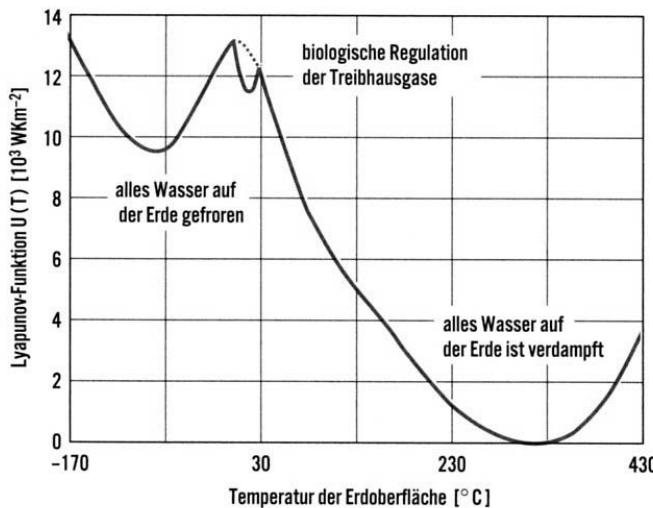


Bild 30.2 Drei Gleichgewichtszustände der Erde, aus „Wie lange reicht die Ressource Wasser?“ (Mauser 2007)

Die Evolution des Lebens hat einen dritten Zustand auf einem lebensfreundlichen Temperaturniveau verwirklicht. Der dritte Zustand legt den Schluss nahe, dass das Leben sich selbst durch Regelmechanismen diesen dritten stabilen Zustand der Erde bei einer Temperatur zwischen 5 °C und 25 °C geschaffen hat. Dieser hat sich allmählich dadurch eingestellt, dass die einsetzende Fotosynthese zu Beginn des Lebens CO₂ aus der Atmosphäre entfernt hat, um daraus Biomasse und Kalkstein zu erzeugen. Das hat den Treibhauseffekt reduziert und die Temperaturen sinken lassen. Der dritte Gleichgewichtszustand ist an Leben gebunden und würde verschwinden, sollte das Leben auf der Erde aussterben. Die Lyapunov-Funktion gibt den Energiegehalt pro Fläche in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur an. Bild 30.2 macht deutlich, dass dieser Gleichgewichtszustand auf eine sorgfältige Balance der Treibhausgase angewiesen ist. Eine zentrale Rolle spielen dabei das CO₂ und der Wasserdampf. Über die Vegetation gibt es ein enges Wechselspiel zwischen beiden Kreisläufen:

1. Die Vegetation reguliert den CO₂-Gehalt der Atmosphäre durch die Aufnahme von Kohlenstoff und – beim Absterben von Pflanzen – den Transfer von Kohlenstoff in langfristige Senken wie die tiefen Ozeane und die Böden.
2. Die Vegetation beeinflusst den Wasserdampfgehalt der Atmosphäre durch verstärkte Verdunstung der Vegetation. Kahle Flächen reduzieren die Verdunstung drastisch, wenn die obere Bodenschicht nach Niederschlägen wieder austrocknet. Landpflanzen bilden Wurzeln und schaffen damit ein effizientes Transportsystem, das die gesamte durchwurzelte Bodenzone entleert und das Wasser in Form von Wasserdampf in die Atmosphäre zurückgibt. Der erhöhte Wasserdampfgehalt führt wiederum zu verstärkten Niederschlägen und damit zu mehr Vegetation.
3. Die Vegetation reguliert den CO₂-Gehalt der Atmosphäre durch die Produktion von Sauerstoff, was wiederum Voraussetzung für Bodenbakterien, Pilze und andere Destruenten ist. Diese veratmen die Vegetationsrückstände in CO₂ und geben damit den durch die Vegetation gebundenen Kohlenstoff wieder an die Atmosphäre zurück. So wird der Kohlenstoffkreislauf geschlossen.

Über die Vegetation sind die Kreisläufe des Kohlenstoffs und des Wassers eng miteinander verzahnt. Der dritte Gleichgewichtszustand wird durch das Lebenserhaltungssystem der Erde aufrechterhalten. Letzterer erbringt weitere wichtige Funktionen. Erstens wird Kohlenstoff zwischen der Atmosphäre und längerfristigen Pools wie den Ozeanen und den Böden ausgetauscht. Damit wird der Wärmehaushalt der Erde durch die Regulierung des Treibhauseffekts gesteuert und die Erdtemperatur auf einem lebensfreundlichen Niveau gehalten. Zweitens wird durch Verdunstung sauberes Wasser für den Niederschlag auf dem Festland zur Verfügung gestellt. Hierfür sind vor allem die Ozeane zuständig, die große Wassermengen verdunsten, die über globale Windsysteme (Bild 15.4) auf die Festländer transportiert werden. Drittens werden Gesteine zu Böden aufbereitet. Damit werden die für die Vegetation nötigen Nährstoffe zur Verfügung gestellt. Viertens werden Menschen und Tieren Nahrungsmittel durch das Wachstum der Pflanzen zur Verfügung gestellt. Fünftens werden die im Laufe des Lebenszyklus von Pflanzen und Tieren anfallenden Abfälle abgebaut und in neue Nährstoffe umgebaut.

Den fünf Funktionen des Lebenserhaltungssystems ist gemeinsam, dass sie auf flüssiges Wasser angewiesen sind. Mangel an Wasser beeinträchtigt ihre Leistungsfunktionen signifikant. Trotz massiver Umwelteinflüsse wie Einschläge von Meteoriten (die für das Aussterben ganzer Tiergattungen verantwortlich waren), Veränderungen der Erdbahnen, die Eiszeiten ausgelöst haben, war der dritte Gleichgewichtszustand im Laufe seiner knapp drei

Milliarden Jahre andauernden Geschichte beeindruckend stabil. Das Leben selbst hat sich somit auf der Erde einen neuen von ihm durch Fotosynthese kontrollierten stabilen Gleichgewichtszustand geschaffen, der seit ca. 2,7 Milliarden Jahren die Bedingungen auf der Erde in einem lebensfreundlichen Bereich hält. Während jener Zeitspanne hat es keine Periode gegeben, auf der kein Leben auf der Erde existiert hat.

Der seit 2,7 Milliarden Jahre existierende Zustand ist einem außergewöhnlichen Zusammenspiel physikalischer, chemischer und biologischer Faktoren zu verdanken. Das ist keine Selbstverständlichkeit und muss auch nicht dauerhaft Bestand haben. Vor etwa 2 Millionen Jahren – weniger als 1 Promille jener 2,7 Milliarden Jahre – betrat mit den Menschen eine neue Spezies das Lebewesenhaltungssystem der Erde. Zur Sicherstellung ihres Überlebens waren die Menschen seit jeher durch die ständige Verfügbarkeit von Gütern und Dienstleistungen des Erdsystems angewiesen. Dabei handelt es sich um eine breite Palette scheinbarer Selbstverständlichkeiten. Sie enthalten:

1. *Physikalische Dienstleistungen* wie Absorption von UV-Strahlung zum Schutz des Lebens, Niederschlag, Infiltration von Regenwasser im Boden, Phosphorabsorption am Boden, Erosion, Sedimentation und Saat ausbreitung durch Wind.
2. *Chemische Dienstleistungen* wie Produktion von Sauerstoff und CO₂-Aufnahme bei der Fotosynthese, fotochemische Reinigung der Atmosphäre, chemische Umwandlung von Gesteinen und Denitrifizierung.
3. *Biologische Dienstleistungen* wie Fotosynthese und Aufbau von Proteinen, Fetten und essenziellen Vitaminen, Bestäubung von Pflanzen, Saat ausbreitung durch Vögel, biologische Schädlingskontrolle, Abbau von Biomasse, biogene Umwandlung von Gesteinen und Stabilisierung der Biosphäre durch Biodiversität.

Mauser diskutiert an dieser Stelle ein Gedankenspiel. Stellen wir uns vor, dass diese Dienstleistungen nicht von der Natur sondern durch technische Lösungen erbracht werden müssten. Das wäre prinzipiell möglich, aber zu unermesslichen Kosten. Ähnliche Gedankenspiele lassen sich anstellen, wenn die natürliche Bestäubung der Blüten durch die Bienen von Menschen übernommen werden müssten, und wenn anstelle der natürlichen Reinigung der Gewässer Kläranlagen diese Aufgaben übernehmen müssten. Diese und weitere Beispiele zeigen, dass jede Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit des Lebewesenhaltungssystems zu einem Verlust an Gütern und Dienstleistungen führt, die im besten Fall durch teure technologische Ersatzlösungen behoben werden könnten.

Die Entwicklung der Menschheit ist mit einer ständigen Intensivierung in der Nutzung der Naturressourcen einhergegangen. „*Die Grenzen des Wachs-*

tums“ (Kap. 32) sind zu einer Metapher geworden. Die Funktionsfähigkeit des Erdsystems ist im Zeitalter des *Anthropozän* gefährdet.

Mauser beschließt seine Ausführungen mit folgenden Worten: »Wenn wir lernen, die Ressource Wasser global zu bewirtschaften, wird sie noch lange reichen. Wasser ist nicht wie Erdöl, es erneuert sich ständig. Am Wasser, das wohl als erste Naturressource knapp wird, wird sich somit exemplarisch entscheiden, ob wir dazu fähig sind, die wichtigsten Stoffkreisläufe des Erdsystems nachhaltig zu managen. Nur dadurch können wir der Verantwortung gerecht werden, die wir durch ihre Aneignung und Inbesitznahme bereits übernommen haben. Mehr und mehr Wissenschaftler und Techniker aus allen Ländern der Erde widmen sich inzwischen diesem Thema, Politiker fragen nach Lösungsansätzen, und immer mehr Menschen brauchen eine Lösung.«

Der Hinweis von Mauser, dass die Ressource Wasser global bewirtschaftet werden muss, führt unmittelbar zum Thema *Governance*. Neben dem Buch von Mauser empfehle ich drei Bücher, die in Stil und Darstellung unterschiedlich sind. Das Buch von Petra Dobner „*Wasserpolitik – Zur politischen Theorie, Praxis und Kritik globaler Governance*“ (2010) entspricht akademischen Kriterien, was Stil, Aufbau und Anzahl der Fußnoten betrifft; es ist die Habilitationsschrift der Autorin. Das Buch des Umweltjournalisten Fred Pearce „*Wenn die Flüsse versiegen*“ (2006) beruht auf authentischen Berichten aus diversen Ländern, die der Autor besucht hat. Erik Orsenna, Mitglied der *Academie Française* und Direktor des *Centre international de la Mer*, hat ähnlich wie Fred Pearce die Welt auf den Spuren des Wassers bereist und seine Erfahrungen in dem Buch „*Die Zukunft des Wassers – Eine Reise um die Welt*“ (2008) bildhaft dargestellt. Im Folgenden werde ich, anknüpfend an Kap. 15, zentrale Botschaften aus den Büchern zusammenfassen.

Petra Dobner beginnt ihre Einleitung mit folgenden Worten: »Wasserpolitik ist die zu allen Zeiten und überall auszuübende Kunst, den Gebrauch und Verbrauch von Wasser so zu regeln, dass konkurrierende Bedarfslagen angemessen befriedigt und Wasserressourcen zugleich nachhaltig geschützt werden. Anders als Land, das in einem einmaligen Akt verteilt werden kann, ist Wasser *im Fluss*. Die Versorgung mit Wasser ist eine gesellschaftliche Daueraufgabe, deren erfolgreiche Erfüllung von der langfristigen, umfassenden, flexiblen und bedarfsoorientierten Ausübung politischer und technischer Fähigkeiten abhängt. Kluge Wasserpolitik erfordert Gerechtigkeit, Weitsicht, Vernunft und Mäßigung – und einen ausgeprägten Sinn für ökologische Interdependenzen sowie für die Exponentialität, mit der sich ökologische Fehlentwicklungen fortsetzen (Meadows u.a. 1972). Dem richtigen Umgang mit Wasser wird daher sowohl in den Weltreligionen als auch in Anleitungen zur Herrschaftsausübung große Aufmerksamkeit geschenkt. Denn während ei-

ne kluge Wasserbewirtschaftung potenziell herrschaftsstabilisierend wirkt, können Hybris, Versagen oder Fehleinschätzungen Menschen, Umwelt und Politik in tiefe Krisen führen. Traditionell ist die Regulierung von Wasser eine öffentliche Aufgabe, die lokalen Gemeinschaften, dem Staat oder beiden obliegt.«

In der Einleitung des Buches werden dramatische Fakten genannt. Noch immer haben knapp 2 Milliarden Menschen keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. Etwa 2,5 Milliarden Menschen haben keinen Zugang zu sanitären Einrichtungen. Nach dem Weltwasserentwicklungsbericht der Vereinten Nationen von 2003 starben im Jahr 2000 etwa 2,2 Millionen Menschen an wasserbedingten Krankheiten, in der Mehrheit Kinder. Alle Prognosen stimmen darin überein, dass die schon bestehenden Probleme der Wasserknappheit und Wasserverschmutzung, vor allem in den rasch wachsenden urbanen Zentren der Entwicklungsländer, bei einem weiteren Anstieg der Weltbevölkerung, fortschreitender Industrialisierung und dem Klimawandel zu einer globalen Katastrophe führen werden, wenn nicht umfassende Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Die globale Bewirtschaftung der endlichen Ressource Wasser ist ein klassisches Beispiel dafür, dass technische und naturwissenschaftliche Fragestellungen untrennbar mit der Frage zusammenhängen, wie dieses auf den Ebenen global, kontinental, national, regional und lokal gestaltet werden kann. Dazu bedarf es einer grenzüberschreitenden Politik, die bisher erst in Ansätzen erkennbar ist.

Die Autoren Pearce und Orsenna beziehen ihre Informationen aus Reisen und Gesprächen mit Experten. In beiden Büchern werden Landkarten, besser Wasserkarten, gezeigt, die ein Gefühl für die länderübergreifenden Flüsse und deren Richtungen vermitteln. Pearce nennt sein abschließendes Kapitel Wasserethik. Er schildert, dass das Problem nicht der Mangel an Süßwasser ist, sondern das Fehlen von effizienten Methoden zu dessen Nutzung. Denn Wasser wird nicht vernichtet, es wird vernutzt. Pearce stellt dar, dass sich die Flüsse der Welt in atemberaubendem Tempo leeren. Gleichzeitig steigt durch Überregulierung die Flutgefahr dramatisch an. Aus seiner Sicht sind die gigantomanischen Bewässerungs- und Staudammprojekte eine enorme ökologische und ökonomische Verschwendug. Neben der *grünen Revolution*, die die wachsende Weltbevölkerung vor dem Hunger bewahren soll, ist eine *blaue Revolution* nötig, um unser wichtigstes Lebensmittel Wasser zu retten. Das Buch von Orsenna folgt einem ähnlichen Ansatz, der Untertitel „Eine Reise um die Welt“ macht seine Intention deutlich. Auch sein Buch ist mit anschaulichen Wasserkarten angereichert. Er beschreibt verschiedene Regionen der Welt, bei denen er die Probleme beispielhaft an Themen und Orten festmacht.