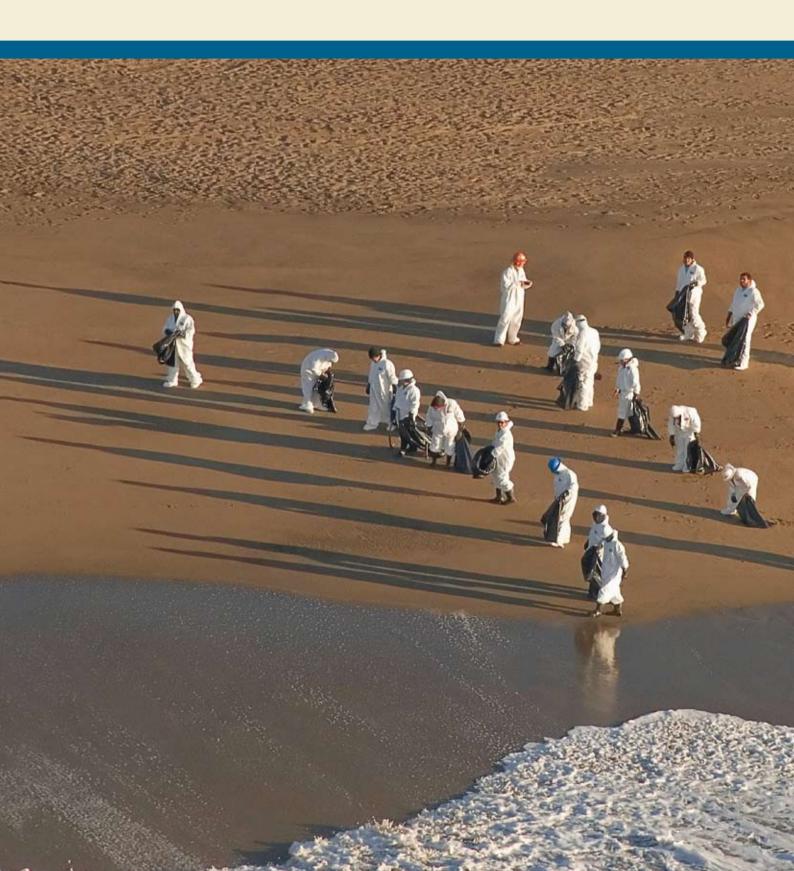
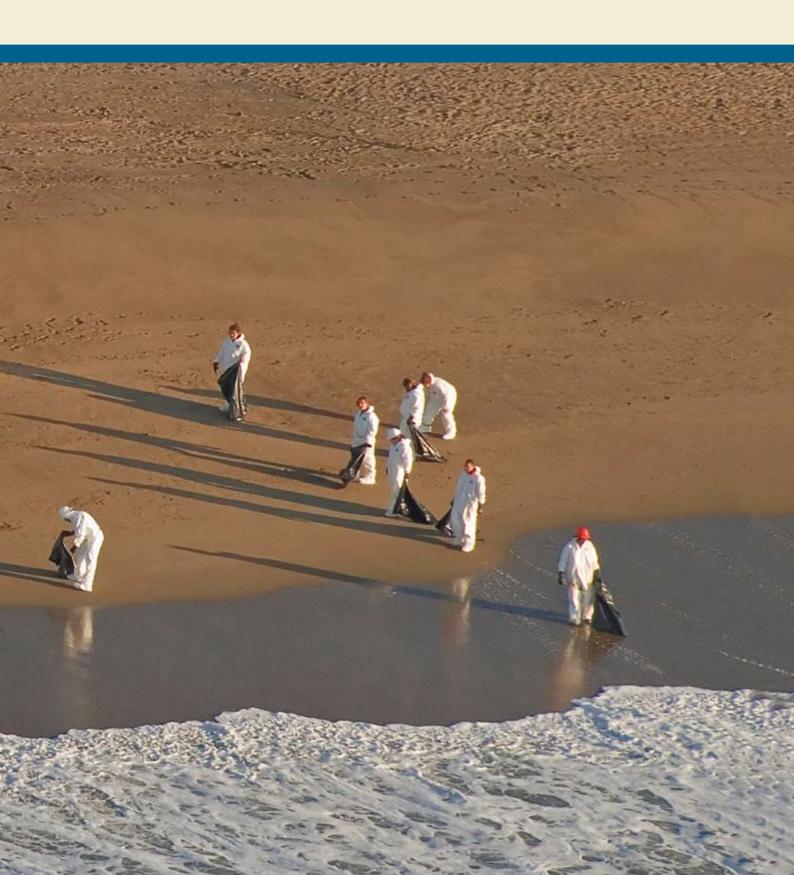
# Endstation Ozean – von der Verschmutzung der Meere



> Durch Produktion und Verbrauch von Lebensmitteln, Industrie- und Konsumgütern erzeugt die Menschheit große Mengen Abfall. Ein beträchtlicher Teil landet früher oder später im Ozean. Problematisch ist auch die zunehmende Verschmutzung der Küstengewässer mit Nähr- und Schadstoffen. Und immer wieder entdeckt man giftige Substanzen, die sich in Meerestieren anreichern.



# Die Überdüngung der Meere

> Flüsse tragen Nährstoffe aus der Landwirtschaft und aus ungeklärten Abwässern in die Ozeane. Vielerorts kommt es dadurch zu Massenvermehrungen von Algen. In manchen Regionen verändern sich ganze Lebensräume. In einigen europäischen Gebieten konnte man die Nährstoffflut eindämmen. Weltweit aber verschlechtert sich die Situation.

#### Lebensader der Küstenmeere - die Flüsse

Zu den produktivsten Meeresregionen gehören die Küstengebiete. Hier werden weltweit die meisten Fische, Muscheln und Meeresfrüchte gefangen. Der Grund für diese hohe Produktivität sind Nährstoffe, die durch die Flüsse vom Land ins Meer gespült werden. Dazu zählen vor allem Phosphat- und Stickstoffverbindungen, die Pflanzen für ihr Wachstum benötigen. Auch das Phytoplankton im Meer, zu dem insbesondere mikroskopisch kleine Algen gehören, nutzt diese Substanzen. Dank der großen Nährstoffzufuhr wächst das Phytoplankton in den Küstengebieten ausgezeichnet. Es wird von Zooplankton, Kleinkrebsen oder Fischlarven sowie anderen Lebewesen gefressen und bildet damit die Basis für die Nahrungsnetze im Meer.

Die hohe Produktivität macht die Küstengebiete auch für die Aquakultur zunehmend interessant. So hat sich die Produktion von Meerestieren aus Aquakultur zwischen 1970 und 2005 weltweit um das 15-Fache erhöht. Doch

nicht allein die Flüsse tragen Nährstoffe in die Küstengewässer. An der Westküste Afrikas zum Beispiel fördern Strömungen nährstoffreiches Wasser aus der Tiefe an die lichtdurchflutete Meeresoberfläche. Auch in diesen sogenannten Auftriebsgebieten bewirken die Nährstoffe ein starkes Algenwachstum, eine erhöhte Produktivität des gesamten Nahrungsnetzes und letztlich eine Zunahme der Fischereierträge. Ein natürliches Maß an Nährstoffen ist also positiv und lebenswichtig für die Meeresorganismen der Küstengebiete.

## Zu viel des Guten

In vielen dicht besiedelten Regionen der Erde aber gelangen zu viele Nährstoffe in die Küstengewässer. Einen Großteil trägt die intensive Landwirtschaft durch den Einsatz von Kunstdüngern bei, die mit dem Regen in die Flüsse gespült werden. Zwischen 1970 und 2005 hat sich allein die Menge des weltweit eingesetzten Stickstoffdüngers fast verdreifacht. Darüber hinaus werden Stickstoffund Phosphatverbindungen auch mit ungeklärtem Abwasser und durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen über die Atmosphäre ins Meer eingetragen. Durch die großen Nährstoffmengen in den Küstengewässern werden die Produktion und der Abbau von organischem Material unnatürlich verstärkt. Fachleute nennen diesen Vorgang Eutrophierung. Der Nährstoffeintrag ist so groß, dass sich das Phytoplankton über die Maßen entwickelt. So bilden sich regelrechte Algenblüten. In der Nordsee und im Wattenmeer kommt es von Zeit zu Zeit zu einer Massenvermehrung von Algen, die in der Brandung zu Schaum geschlagen werden. Dabei bilden sich zum Teil meterhohe Haufen, die an Eischnee erinnern. Gefährlich wird es, wenn sich toxische Algen ausbreiten. Diese vergiften

4.1 > Durch die Eutrophierung wird das Wachstum von Algen angeregt, die in der Brandung zu Schaum geschlagen werden, wie beispielsweise an der deutschen Nordseeküste.





4.2 > Die Überdüngung der Meere wird häufig erst durch das massenhafte Auftreten von Grünalgen sichtbar. Im Vorfeld der olympischen Segelwettbewerbe 2008 in Qingdao mussten sie in Handarbeit von der Wasseroberfläche entfernt werden.

nicht nur die Lebewesen im Meer, wie etwa Fische und Muscheln. Über den Umweg der Nahrungskette nehmen auch Menschen die Gifte auf. Inzwischen sind zahlreiche Fälle bekannt, bei denen Menschen nach dem Verzehr vergifteter Muscheln gestorben sind. Wissenschaftler konnten nachweisen, dass auch Meeressäuger an Algengiften verenden, die sie mit der Nahrung aufnehmen. Derartige toxische Algenblüten treten beispielsweise entlang der texanischen Küste auf. Sie verfärben das Wasser und werden daher auch als "red tides" oder "brown tides" bezeichnet.

Doch selbst die Blüten ungiftiger Algen werden zum Problem, sobald die Algen sterben. Die toten Algen sinken ab und werden dabei von Mikroorganismen abgebaut, die den Sauerstoff im Meerwasser verbrauchen. Niedrige Sauerstoffkonzentrationen im Wasser können zum Absterben von Fischen und Schalentieren führen. Nimmt der Sauerstoffgehalt ab, flüchten zunächst die Tiere, die sich aktiv bewegen können, zum Beispiel Fische und Krebse. Im Boden nimmt zugleich die Zahl der Tiere ab, die auf eine gute Versorgung mit Sauerstoff angewiesen sind. Sinkt die Sauerstoffkonzentration noch weiter, verschwinden auch

die meisten anderen im Boden lebenden Arten. Zurück bleiben einige wenige Spezies, die auch geringe Sauerstoffkonzentrationen überstehen. Wenn das Bodenwasser schließlich gänzlich sauerstofffrei ist, sterben selbst diese Organismen ab.

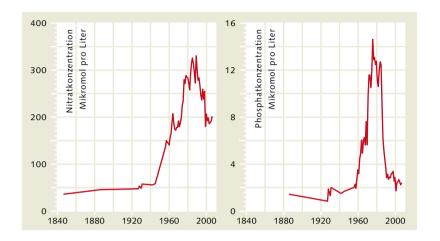
Die Eutrophierung lässt allerdings nicht nur das Phytoplankton erblühen. Sie wirkt sich auch auf größere Pflanzen aus und verändert oftmals ganze Küstenökosysteme. Ein Beispiel ist die Bildung von Grünalgenmassen im Jahr 2008, als der olympische Segelwettbewerb an der chinesischen Küste bei Qingdao durch einen riesigen Grünalgenteppich behindert wurde. In anderen Fällen führt die Eutrophierung zum Verschwinden von Seegraswiesen (Kapitel 5) oder zur Veränderung der Artenzusammensetzung in bestimmten Lebensräumen. Kurz: Die Eutrophierung ist ein Beispiel dafür, wie sich Veränderungen auf dem Festland auf das Meer auswirken, denn die Ozeane sind über die Flüsse und die Atmosphäre mit der Landmasse verbunden. Um die negativen Effekte der Eutrophierung zu reduzieren, wird versucht, die Einträge von Phosphat- und Stickstoffverbindungen in die Küstengewässer zu verringern.



#### Eine Trendumkehr ist möglich

Wie sich in Europa der Eintrag von Nährstoffen über die Flüsse ins Meer entwickelt hat, lässt sich gut am Beispiel der Nordsee und des Rheins zeigen, da für beide ausführliche Daten vorliegen. Erste Beobachtungen stammen aus der Mitte des 19. Jahrhunderts. Über Jahrzehnte wurden an der deutsch-niederländischen Grenze Wasserproben aus dem Rhein entnommen und analysiert. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts verzeichneten die Forscher in der Nähe des Grenzortes Lobith einen starken Anstieg der Phosphat- und Nitratkonzentrationen. Seit Mitte der 1980er Jahre gehen die Konzentrationen dank geeigneter Maßnahmen wieder kontinuierlich zurück. Ursachen für den Anstieg waren die wachsenden Einträge aus der Landwirtschaft und der Industrie sowie die Einleitung ungeklärter kommunaler Abwässer. Eine bedeutende Phosphatquelle waren Waschmittel, in denen Phosphate zur Entkalkung des Waschwassers eingesetzt wurden. Ein Verbot dieser Waschmittel führte dann bereits in den 1970er Jahren zur Abnahme der Phosphatkonzentration im Wasser des Rheins. Ab den 1980er Jahren sank dann auch die Stickstoffkonzentration im Flusswasser. Das ist zum einen auf verbesserte Düngungsmethoden in der Landwirtschaft zurückzuführen, durch die weniger Nährstoffe aus den Äckern ausgespült werden. Ein zweiter Grund ist die bessere Klärung von industriellen und kommunalen Abwässern. 1987 schließlich einigten sich die Umweltminister der Nordseeanrainerstaaten auf das Ziel, die durch die Flüsse transportierten Phosphat- und Stickstoffmengen zu halbieren. Für die Phosphate wurde dieses Ziel schnell erreicht. Für die Stickstoffverbindungen benötigte man 25 Jahre. Allerdings trägt der Rhein trotz schrumpfender Phosphat- und Stickstoffkonzentrationen im Flusswasser noch immer große Nährstoffmengen in die Nordsee, denn er fließt durch ein agrartechnisch hochentwickeltes und intensiv genutztes Gebiet. Die Nitratfrachten sind daher noch immer höher als in vorindustrieller Zeit vor 150 Jahren. Ähnlich ist die Situation in anderen europäischen Flussgebieten und in den USA.

Für einige Teile Europas haben also politische Entscheidungen zu einer Trendumkehr und einer Abnahme der Nährstoffeinträge ins Meer geführt. Weltweit aber zeichnet sich eine ganz andere Tendenz ab. Modellrechnungen



4.4 > Zur Eutrophierung der Küstengewässer tragen vor allem Nitrate (Stickstoffverbindungen) und Phosphate bei, die durch die großen Flüsse ins Meer gespült werden. Ab der Mitte des vergangenen Jahrhunderts nahm beispielsweise im Rhein in der Nähe des Grenzortes Lobith die Konzentration der Nährstoffe enorm zu. Ursachen waren die intensive Nutzung von Kunstdüngern in der Landwirtschaft und die schlechte Klärung von Abwässern. Durch Gegenmaßnahmen wie das Verbot phosphathaltiger Waschmittel und bessere Düngungstechnik konnten die Einträge seit den 1980er Jahren erheblich reduziert werden. In vielen anderen Küstenregionen der Welt hingegen nehmen die Nährstoffkonzentrationen weiter zu.

haben ergeben, dass der Einsatz von Düngemitteln aufgrund des Bevölkerungswachstums und der Intensivierung der Landwirtschaft in vielen Regionen zunimmt. Entsprechend steigen in vielen Küstengebieten die Phosphatund Stickstoffmengen, die über die Flüsse ins Meer eingetragen werden. Vor allem in Südostasien spülen die Flüsse mehr und mehr Nährstoffe ins Meer. Fachleute gehen davon aus, dass diese Mengen weiter ansteigen.

#### Ein weltweites Problem

Seit den 1960er Jahren treten die Effekte der Eutrophierung deutlich zutage. Forscher entdeckten immer häufiger Algenblüten, sauerstoffarme Zonen in den Küstenregionen oder Veränderungen der Küstenökosysteme. Inzwischen hat man in vielen Studien die Ursachen der Eutrophierung genauer analysiert. Als sicher gilt, dass es tatsächlich einen direkten Zusammenhang zwischen den Umweltveränderungen und den Nährstoffeinträgen gibt. Wie die Phosphate und Stickstoffe zusammenwirken, darüber waren sich die Forscher aber lange uneins. So nahmen manche Experten an, dass für das Algenwachstum das

#### Der Mississippi und die Todeszone im Golf von Mexiko

Kein anderer nordamerikanischer Fluss hat ein so großes Einzugsgebiet wie der Mississippi. Entsprechend groß sind die Nährstoffmengen, die er in den Golf von Mexiko spült. Da das Süßwasser leichter als das salzige Meerwasser ist, lagert es sich auf dem Meerwasser ab. Dieses Phänomen nennt man Stratifizierung. Diese Süßwasserschicht verhindert wie eine Decke, dass das Meerwasser Gase wie zum Beispiel Sauerstoff mit der Atmosphäre austauscht. Derartige Stratifizierungen kennt man auch aus anderen Küstengebieten, etwa der Ostsee zwischen Dänemark und Schweden oder aus den norwegischen Fjorden. Im Fall des Mississippi aber ist die Situation verschärft, weil das Flusswasser besonders viele Nährstoffe enthält. Die Nährstoffe führen zu üppigem Algenwachstum. Wenn die Algen sterben, sinken ihre Überreste in die untere Wasserschicht. Dort werden sie durch Bakterien abgebaut, die Sauerstoff verbrauchen. Dadurch nimmt die Sauerstoffkonzentration in der tief gelegenen Salzwasserschicht gefährlich ab. Frei bewegliche Organismen fliehen vor dem Sauerstoffmangel. Weniger mobile Lebewesen wie etwa Muscheln sterben. Daher werden die sauerstoffarmen Gebiete vor der Küste von Louisiana und Texas "dead zone", Todeszone, genannt. Im Jahr 2002 wurden niedrige Sauerstoffkonzentrationen auf einer Fläche von mehr als 20000 Quadratkilometern beobachtet. Es gibt deutliche Hinweise darauf, dass die mit der

Stratifizierung einhergehenden Sauerstoffprobleme erst seit Mitte des letzten Jahrhunderts vermehrt auftreten. Der Grund dafür dürften die angestiegenen Nährstoffkonzentrationen, insbesondere der Stickstoffe, sein, die sich seit den 1950er Jahren verdreifacht haben. Die Stratifizierung im nördlichen Golf von Mexiko ist an sich ein natürliches Phänomen, das vor allem in niederschlagsreichen Jahren ausgeprägt ist. Sturmereignisse wie Hurrikans können das Wasser stark durchmischen und der Stratifizierung sogar entgegenwirken. Dennoch ist die Nährstofffracht des Mississippi zu groß. Mithilfe eines Managementplans versucht man nun, die Nährstoffeinträge zu reduzieren, um die Todeszone auf eine maximale Größe von etwa 5000 Quadratkilometern zu begrenzen. Zu den Maßnahmen gehören eine verbesserte Klärung der Abwässer, eine Optimierung der Düngung und die Schaffung von Überflutungsflächen entlang der Flüsse, die beträchtliche Nährstoffmengen abfangen können.

4.5 > Der Mississippi schleppt Unmengen von Sedimenten (gelbbraun) und Nährstoffen in den Golf von Mexiko, die durch den Wind nach Westen die Küste entlang transportiert werden. Die Nährstoffe bewirken ein starkes Algenwachstum (grün). Durch den bakteriellen Abbau der Algen in der Tiefe wird Sauerstoff verbraucht. Dadurch entsteht in einem weiten Areal entlang der US-Küste eine völlig sauerstofffreie Todeszone.



"Minimumgesetz" gilt, das der Agrarwissenschaftler Carl Sprengel 1828 formulierte. So benötigt eine Pflanze mehrere Nährstoffe, um zu gedeihen. Fehlt ein Nährstoff, kann sie nicht wachsen. Demnach ist das Wachstum der Pflanzen also immer nur durch den einen Stoff limitiert, der gerade nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung steht. Entsprechend dachte man, dass es ausreichend wäre, nur einen Nährstoff aus dem Abwasser und den Flüssen zu entfernen, um das Algenwachstum zu stoppen, also Phosphat oder Stickstoff. Damit hätte man erhebliche Kosten für die Wasseraufbereitung sparen können. Diese Annahme ist jedoch zu simpel, denn immer mehr Experimente und Beobachtungen weisen darauf hin, dass oft mehrere Faktoren zugleich das Pflanzenwachstum limitieren. Experten nennen dieses Phänomen Co-Limitierung. Die Eutrophierung lässt sich demnach nur erfolgreich bekämpfen, wenn Phosphat und Stickstoff zugleich reduziert werden. Das ist jedoch nicht einfach, vor allem, weil sich die Stickstoffe, die in der Landwirtschaft freigesetzt werden, nicht einfach eindämmen lassen. Das Gleiche gilt für Stickstoffe, die aus der Verbrennung von Erdgas, Erdöl oder Kohle stammen und über die Atmosphäre eingetragen werden. Daher dürften Eutrophierungen der Küstengewässer auch künftig auftreten.

Ein Beispiel für stark eutrophierte Gebiete ist die Deutsche Bucht. Vor allem während der 1980er Jahre sank dort die Sauerstoffkonzentration in den tieferen Wasserschichten bedenklich. Im Wattenmeer wiederum beobachtete man eine Zunahme der Primärproduktion, des Algenwachstums. Das Seegras verschwand, eine Pflanze, die in der Nordsee und im Wattenmeer einzigartige Lebensräume bildet. Es wurde von wuchernden Grünalgen verdrängt, die sich massenhaft vermehrten. Weltweit sind vor allem Gewässer mit geringem Wasseraustausch von der Eutrophierung betroffen, weil die Nährstoffe kaum fortgetragen werden. Dazu gehören die Bucht von Tokio, der Long-Island-Sound in den USA, die Ostsee oder auch einige Fjorde in Norwegen. Auch im Mittelmeer wurden an verschiedenen Stellen wie der nordöstlichen Adria oder der Bucht von Athen Eutrophierungserscheinungen und eine Zunahme des Phytoplanktons beobachtet. Ein Spezialfall ist der Golf von Mexiko, wo der Mississippi so viele Nährstoffe einträgt, dass entlang der Küste ein ausgedehntes sauerstoffarmes Gebiet entstanden ist.

#### Ist eine Besserung in Sicht?

Durch gezielte Maßnahmen, wie zum Beispiel die Wasserrahmenrichtlinie aus dem Jahre 2000 oder die Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie, die 2008 in Kraft trat, versucht die Europäische Union die Wasserqualität der europäischen Küstengewässer zu verbessern. Wichtige Parameter zur Bewertung der Gewässergüte sind eine ausreichende Sauerstoffkonzentration, geringe Nährstoffmengen sowie das Vorhandensein bestimmter Algenarten und Bodenlebewesen. Wo immer das möglich ist, sollen die ehemals eutrophierten Gewässer in den natürlichen Zustand oder zumindest in einen nur gering beeinflussten Zustand zurückversetzt werden. Zur Überwachung dieser Maßnahmen soll darüber hinaus ein verbessertes Monitoring, eine Langzeitbeobachtung, durchgeführt werden, um Veränderungen und deren Ursachen identifizieren zu können.

Aufgrund des Wachstums der Weltbevölkerung wird die Eutrophierung noch über Jahrzehnte ein Problem sein. Eine weltweite Reduzierung der in die Küstengewässer eingetragenen Nährstoffmengen ist nicht in Sicht. Das Dilemma: Für die Menschheit ist die Landwirtschaft und die Produktion von Getreide lebenswichtig. Mit ihr aber gelangen Unmengen von Düngemitteln in die Flüsse und das Meer. Es gilt daher, mithilfe von meist kostenspieligen Reduktionsmaßnahmen eine Balance zwischen dem Nährstoffeintrag aus der Landwirtschaft und den negativen Auswirkungen auf die Küstenökosysteme zu finden.

Besonders problematisch ist, dass sich eutrophierte Küstenökosysteme nicht gänzlich in ihren Ursprungszustand zurückversetzen lassen. Die Eutrophierung ist nicht komplett reversibel! So zeigen Studien an mehreren europäischen Küstensystemen, dass eine längere Eutrophierungsperiode nachhaltige Änderungen im Ökosystem bewirkt, die sich nicht einfach durch eine Verringerung der Nährstoffeinträge rückgängig machen lassen. Das Beispiel Wattenmeer aber macht deutlich, dass geeignete Maßnahmen zu einer Abnahme der Nährstoffmengen und zu einer Verbesserung der Meeresumwelt führen können. Im nördlichen Wattenmeer zum Beispiel gibt es Anzeichen dafür, dass sich mit der Abnahme der Nährstoffmengen und der Algenblüten die Seegrasbestände erholt und wieder vergrößert haben.

## Organische Schadstoffe in der Meeresumwelt

> Schon lange ist bekannt, dass sich bestimmte Gifte in der Natur und in Lebewesen anreichern. Gesundheitsschäden sind die Folge. Viele Substanzen wurden deshalb verboten. Doch tauchen in der Umwelt immer wieder neue giftige Stoffe auf, deren Gefahr man zunächst nicht erkannt hat. Ein aktuelles Beispiel sind die polyfluorierten Verbindungen. Bislang ist dieses Problem ungelöst.

#### Die Kehrseite unseres Konsums

Chemische Produkte braucht jeder – als Kunststoff für das Computergehäuse, als Bodenbelag in der Sporthalle oder Gummisohle im Joggingschuh. Die Einsatzgebiete sind vielfältig und so wird heute in der Industrie eine Fülle verschiedener Chemikalien genutzt. Nach Angaben der Organisation für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD) sind weltweit etwa 100 000 unterschiedliche chemische Substanzen im Umlauf. Allein in Europa werden circa 10 000 Chemikalien ieweils in einer Größenordnung von mehr als zehn Tonnen pro Jahr produziert und vermarktet. Davon sind schätzungsweise 1 bis 3 Prozent problematisch. Zu diesen umweltrelevanten Schadstoffen zählen beispielsweise die bekannten Schwermetalle Blei und Quecksilber, die aus der Verbrennung von Heizöl, aus dem Bergbau oder aus industriellen Abgasen und Abwässern stammen. Eine andere problematische Stoffklasse sind die langlebigen organischen Schadstoffe, die sogenannten POPs (persistent organic pollutants).

4.6 > Tausende von an Hundestaupe verendeten Seehunden mussten in den Jahren 1988 und 2002 an deutschen Stränden eingesammelt und entsorgt werden.

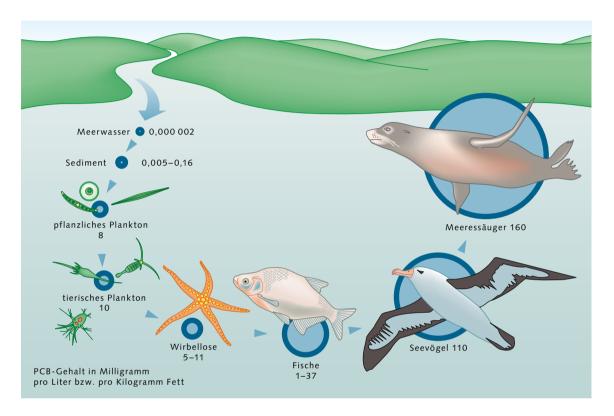


#### Langlebig und giftig - POPs

Entsprechend der Stockholm-Konvention, der sogenannten POPs-Konvention aus dem Jahre 2001, werden giftige und zugleich langlebige organische Schadstoffe als POPs bezeichnet. Dazu gehören Schädlingsbekämpfungsmittel wie DDT und Lindan, Industriechemikalien – wie zum Beispiel polychlorierte Biphenyle (PCB) – oder Nebenprodukte, die bei der industriellen Fertigung oder bei Verbrennungsprozessen entstehen, beispielsweise Dioxine. Da derartige Stoffe sehr stabil und somit nur schwer abbaubar sind, können sie über große Entfernungen transportiert werden und sich in der Umwelt anreichern.

Problematisch ist, dass POPs im Fettgewebe oder in Organen von Lebewesen gespeichert werden. Dort können sie toxische Wirkungen entfalten. Sie greifen beispielsweise in den Hormonhaushalt ein, lösen Krebs aus, verändern das Erbgut oder schwächen das Immunsystem.

Bei Meeressäugern sind verschiedene Auswirkungen von POPs untersucht worden. Bei Ringel- und Kegelrobben aus der Ostsee wurden Verengungen und Tumoren in der Gebärmutter festgestellt, die zu einer Abnahme der Geburtenrate führten. Weiterhin wurden Darmgeschwüre sowie eine Abnahme der Knochendichte und damit Veränderungen am Skelettsystem beobachtet. Bei Seehunden und Schweinswalen fand man Hinweise darauf, dass POPs das Immunsystem und das Hormonsystem schwächen. Diskutiert wird in diesem Zusammenhang auch, ob diese Schadstoffe und die Schwächung des Immunsystems einen Einfluss auf die Ausbreitung von Epidemien haben beispielsweise das Seehundsterben in der Nordsee in den Jahren 1988 und 2002, das vermutlich durch eine epidemieartige Verbreitung des Hundestaupe-Erregers ausgelöst wurde.



4.7 > Das Problem der Anreicherung von Giften in der marinen Nahrungskette ist lange bekannt. Wie dieser Prozess abläuft, lässt sich am Beispiel des klassischen Umweltgifts PCB (polychlorierte Biphenyle) zeigen.

Menschen nehmen POPs vor allem über die Nahrung und das Trinkwasser, aber auch über die Atmung (insbesondere durch Staubpartikel) und über die Hautoberfläche (durch direkten Kontakt mit der Chemikalie) auf. Lebewesen, die wie der Mensch oder Meeressäuger am Ende der Nahrungskette stehen, weisen in der Regel die höchsten Konzentrationen auf.

## Ein neues Sorgenkind – polyfluorierte Verbindungen

Neben den oben erwähnten klassischen POPs wurden Ende der 1990er Jahre in der Umwelt weitere toxische und langlebige Verbindungen unnatürlichen Ursprungs entdeckt, die man aufgrund unzureichender technischer Analysemethoden zuvor nicht hatte nachweisen können. Dazu gehören die polyfluorierten Verbindungen (polyfluorinated compounds, PFCs). Polyfluorierte Verbindungen werden seit mehr als 50 Jahren in vielen Bereichen des täglichen Lebens genutzt. Sie werden vor allem als Fluorpolymere in der Textilindustrie, beispielsweise in der

Herstellung atmungsaktiver Membranen für Outdoor-Jacken, verwendet und in der Papierindustrie zur Produktion von schmutz-, fett- und wasserabweisenden Papieren (beispielsweise Fast-Food-Verpackungen) genutzt. Auch bei der Imprägnierung von Möbeln, Teppichen und Bekleidung sowie als Antihaftbeschichtung von Kochgeschirr (beispielsweise Teflonpfannen) kommen sie zum Einsatz.

Man nimmt an, dass im vergangenen Jahrzehnt insgesamt sechs Hersteller weltweit jährlich rund 4500 Tonnen PFCs erzeugten, eine – verglichen mit anderen Chemikalien – eher geringe Menge. Dennoch ist die Substanzgruppe wegen ihrer umweltrelevanten Eigenschaften von Bedeutung, denn manche der PFCs reichern sich besonders stark in Organismen an.

Derzeit kennt man mehr als 350 verschiedene polyfluorierte Verbindungen. Der bekannteste Vertreter dieser Substanzgruppe ist PFOS (Perfluoroctansulfonat). Aus Tierversuchen mit PFOS schließen Forscher, dass beim Menschen mit ernsten Gesundheitsschäden zu rechnen ist, wenn er wiederholt PFOS aufnimmt. Betroffen könnte unter anderem die Leber sein. Darüber hinaus ist PFOS

möglicherweise krebserregend. Vermutet wird auch, dass es bei den Nachkommen zu Entwicklungsschäden führt. PFOS wurde deshalb kürzlich als erste polyfluorierte Verbindung als POP im Sinne des Stockholmer Übereinkommens eingestuft und damit in die Liste der besonders gefährlichen Chemikalien aufgenommen, die weltweit verboten werden sollen.

#### Vorkommen polyfluorierter Verbindungen

Polyfluorierte Verbindungen werden zwar schon seit etwa einem halben Jahrhundert industriell hergestellt. In der Umwelt lassen sie sich aber erst seit wenigen Jahren dank neuer chemisch-analytischer Methoden nachweisen. In der Natur kommen derartige polyfluorierte Verbindungen nach derzeitigem Kenntnisstand normalerweise nicht vor. Inzwischen aber lassen sie sich in Wasser, Boden, Luft und Lebewesen auf der ganzen Welt nachweisen – auch im Menschen. Zahlreiche Lebensmittel, menschliches Blut und Muttermilch sind bereits erheblich mit PFCs belastet. Vor allem die Verbreitung von PFOS ist gut untersucht. Die Substanz findet man in vergleichsweise hohen Konzentrationen weltweit in Fischen, Robben oder Seevö-

geln und vor allem in arktischen Eisbären als Endgliedern der Nahrungskette. Kanadischen und dänischen Berichten zufolge wurde in Leberproben von Eisbären aus Kanada, Alaska und Grönland in den vergangenen Jahrzehnten ein starker Anstieg der PFOS-Konzentration ermittelt.

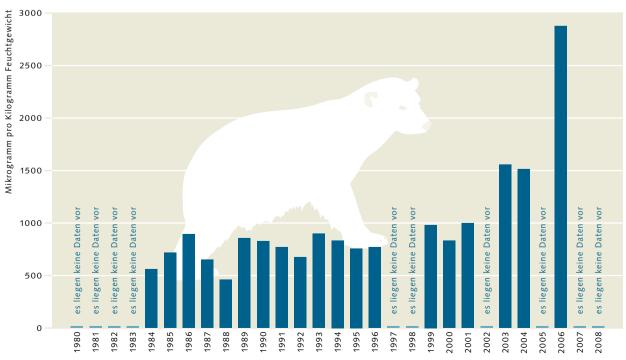
Im Vergleich zu anderen umweltrelevanten POPs, wie etwa den polychlorierten Biphenylen, weisen PFCs beachtlich hohe Werte auf. So lag die mittlere PFC-Konzentration laut schwedischen Untersuchungen an menschlichem Blut aus den Jahren 1994 bis 2000 20- bis 50-fach höher als die der polychlorierten Biphenyle und circa 300- bis 450-fach höher als die von Hexachlorbenzol, zwei klassischen organischen Schadstoffen, deren Gefährlichkeit seit Jahrzehnten bekannt ist.

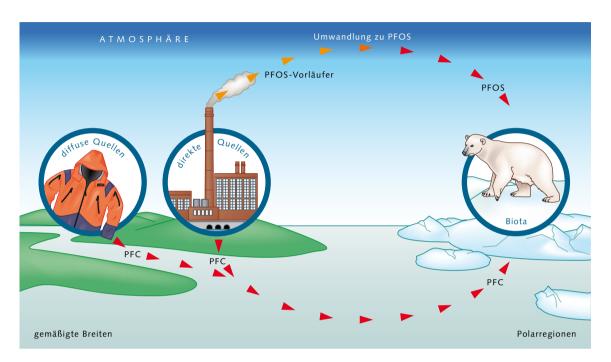
#### Transportwege der polyfluorierten Verbindungen

Funde von PFCs und insbesondere PFOS in marinen Säugetieren, wie Robben oder Eisbären der Arktis, sowie im Blut der arktischen Bewohner, der Inuit, werfen die Frage auf, wie diese Stoffe ins Meer und sogar bis in die Arktis gelangen können. Zum einen gibt es zahlreiche diffuse Quellen – so lösen sich PFCs beim Gebrauch von den



4.8 > In den vergangenen Jahren





4.9 > PECs können entweder in Gewässern oder in der Luft über große Entfernungen transportiert werden. So gelangen sie beispielsweise auf direktem Weg über Abwasser in die Flüsse und schließlich ins Meer. Sie können aber auch indirekt über die Atmosphäre transportiert werden. So entweichen beispielsweise flüchtige PFOS-Vorläufer in die Luft, werden hier zu PFOS umgewandelt und kommen in Niederschlägen oder im Staub an anderer Stelle wieder zurück auf die Erdoberfläche.

oben erwähnten Alltagsgegenständen ab, von Teppichböden, Outdoor-Bekleidung, Pfannen oder Fast-Food-Papier. Darüber hinaus aber werden größere Mengen PFCs in Deutschland über kommunale und industrielle Kläranlagen, die diese Verbindungen nicht gezielt zurückhalten können, in die Flüsse eingetragen. Von hier aus gelangen die polyfluorierten Verbindungen in die Nordsee. Anschließend können sie mit den Hauptströmungen der Nordsee und des Atlantischen Ozeans bis in die Arktis transportiert werden, wo sie von Kleinstlebewesen im Wasser aufgenommen und über die Nahrungskette in höheren Organismen und schließlich in den Organen von Eisbären oder Menschen angereichert werden.

PFCs werden aber auch durch Luftmassenbewegungen in der Atmosphäre über weite Strecken transportiert. Zwar sind Verbindungen wie PFOS nicht flüchtig. Doch es entweichen flüchtige Vorläuferverbindungen aus den technischen Herstellungsprozessen in die Luft. In der Atmosphäre können diese chemischen Vorläufer dann durch physikalische und chemische Prozesse zu stabilen Endprodukten wie PFOS umgesetzt werden. Diese werden mit den Niederschlägen aus der Luft gewaschen und in gelöster Form oder an Staubpartikel gebunden ins Meerwasser eingetragen oder auf dem Festland oder dem Eis

abgelagert. So können PFCs große Distanzen überwinden und weit entfernt vom Ort ihrer Herstellung oder Verwendung in der Umwelt nachgewiesen werden.

#### Schutz vor neuen Schadstoffen

Noch vor wenigen Dekaden kannte man PFCs gar nicht. Heute sind sie über den ganzen Globus verbreitet. Sie finden sich im Wasser, in der Luft, in den Lebewesen und auch in uns Menschen. Es ist abzusehen, dass sie Generationen überdauern werden. Diese Stoffgruppe zeigt beispielhaft, dass man offensichtlich nie sämtliche Auswirkungen neuer chemischer Produkte auf die Umwelt sowie deren Spätfolgen vorhersehen kann. So wird es auch in der Zukunft in der marinen Umwelt immer wieder Stoffe geben, die man anfänglich für unschädlich hält, deren unerwünschte Einflüsse aber erst nach einiger Zeit erkennbar werden. Immerhin gibt es mittlerweile zahlreiche Bemühungen, die weitere globale Verteilung von Schadstoffen einzugrenzen. So versucht man die Gefährlichkeit von Chemikalien heute durch Risikobewertungen zu ermitteln, bevor man diese in den Verkehr bringt. Zudem gibt es Selbstverzichtserklärungen der Produzenten oder gesetzliche Regelungen. Ein Anfang ist also gemacht.

## Allgegenwärtig – der Müll im Meer

> Alljährlich gelangen große Mengen Müll ins Meer. Weil vor allem Plastikreste besonders haltbar sind, nimmt die Masse ständig zu – mit oft tödlichen Folgen für eine Vielzahl von Meerestieren. Eine Gefahr geht möglicherweise auch von den mikroskopisch kleinen Abbauprodukten aus, die man erst in jüngster Zeit näher untersucht. An einer wirkungsvollen Strategie zur Eindämmung der Müllflut aber fehlt es bislang, obwohl das Problem nicht neu ist.

#### Die Herkunft des Abfalls

Wer nach einem Sturm einen Strandspaziergang macht, bekommt eine Ahnung davon, wie viel Müll in den Ozeanen treibt: Plastikflaschen, Fischkisten und Glühbirnen, Badelatschen, Fetzen von Fischernetzen und Bretter liegen verstreut im Sand. Der Anblick ist weltweit der gleiche, denn die Meere sind voll mit Abfällen. Die Mengen sind beträchtlich. So schätzte die National Academy of Sciences in den USA den jährlichen Eintrag in die Ozeane bereits 1997 auf rund 6,4 Millionen Tonnen. Die tatsächliche Menge des durch die Meere vagabundierenden Mülls ist aber schwer abzuschätzen, weil er ständig in Bewegung und daher kaum fassbar ist.

Erschwerend kommt hinzu, dass der Abfall auf vielen Wegen ins Meer gelangt. Der größte Teil stammt vom Land. Der Müll wird mit Abwässern über die Flüsse ins Meer gespült oder von Müllkippen an der Küste ins Wasser geweht. Vielerorts lassen Badegäste ihre Abfälle achtlos am Strand liegen.

Auch die Schifffahrt trägt zur Vermüllung der Meere bei. Dazu zählen Abfälle von Handels- und Sportschiffen, die über Bord geworfen werden oder versehentlich ins Wasser fallen, und vor allem auch verloren gegangene Fischernetze. Da der Müll zu einem großen Teil aus Plastik besteht, das im Wasser nur sehr langsam abgebaut wird und häufig Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte überdauert, wächst das Müllvolumen stetig.

Wissenschaftliche Untersuchungen haben ergeben, dass die Müllmenge in verschiedenen Meeresgebieten unterschiedlich groß ist. In vielen Bereichen zählten die Forscher zwischen 0 und 10 Plastikteilen pro Quadratkilometer. Im Ärmelkanal waren es zwischen 10 und 100 Teilen. In den Küstengewässern Indonesiens schließlich wur-

den je Quadratmeter 4 Müllteile gemessen – ein Vielfaches des Durchschnittswerts.

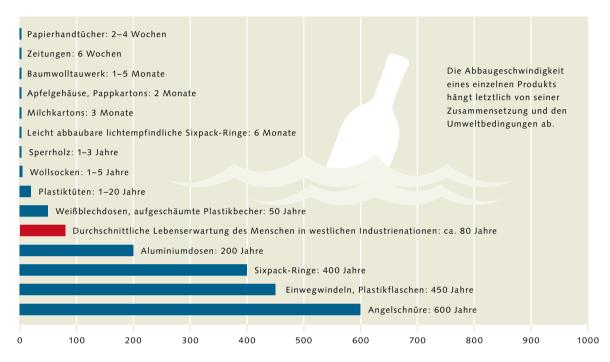
Doch nicht allein die Küsten sind betroffen, denn, getrieben durch Wind und Meeresströmungen, wandert der ausgesprochen langlebige Müll sehr weit. So findet man Müll heute selbst an entlegenen Stränden und auf unbewohnten Inseln.

1997 entdeckten Forscher, dass sich der treibende Müll mitten im Ozean sammelt - beispielsweise im Nordpazifik. Permanent rotieren dort gigantische Wassermengen in mehreren Hundert Kilometern breiten Wirbeln, die durch gleichmäßige Winde angetrieben werden. Hier endet die Weltreise des Plastikmülls. Der Abfall kreist ununterbrochen. Ständig kommt neuer Müll hinzu. Great Pacific Garbage Patch (Großer pazifischer Müllflecken) nennen Umweltforscher den Wirbel inzwischen. Bedenkt man. dass sich der Müll auf offener See, mehrere Tausend Kilometer vom Festland entfernt befindet, ist die Müllmenge erschreckend groß: Auf einem Quadratkilometer konnten Wissenschaftler fast eine Million Plastikteile nachweisen. Allerdings handelte es sich dabei meist um kleine Plastikbruchstücke, die mit feinmaschigen Netzen aus dem Wasser gefischt worden waren. Im Ärmelkanal und bei vielen anderen Studien hatten Forscher die Müllteile hingegen im Vorbeifahren vom Schiff aus gezählt.

Schon die treibenden Meeresmüllmengen sind beträchtlich. Rund 70 Prozent der Abfälle aber, so schätzt man, sinken früher oder später zu Boden. Zu den besonders betroffenen Gebieten zählen die Küstengewässer dicht besiedelter oder touristisch stark genutzter Regionen wie etwa Europa, die USA, die Karibik oder Indonesien. In europäischen Gewässern wurden auf dem Meeresboden pro Quadratkilometer bis zu 100 000 mit dem bloßen Auge sichtbare Müllteile gezählt. In Indonesien waren es sogar

## Die Top Ten der weltweit häufigsten Müllteile im Meer:

- 1 Zigaretten/ Zigarettenfilter
- 2 Tüten (Plastik)
- 3 Lebensmittelverpackungen
- 4 Deckel/ Verschlüsse
- 5 Getränkeflaschen (Plastik)
- 6 Tassen, Teller, Gabeln, Messer, Löffel (Plastik)
- 7 Glasflaschen
- 8 Getränkedosen
- 9 Strohhalme, Rührstäbchen (Plastik)
- 10 Papiertüten



4.10 > Die Müllmenge nimmt in den Ozeanen beständig zu. Viele der Abfälle bauen sich nur langsam ab. Besonders haltbar sind Kunststoffflaschen oder Fischleinen aus Nvlon. Zwar zerbrechen viele Plastikteile in kleinere Stückchen. Bis diese ganz verschwunden sind, vergehen aber Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte (Schätzwerte).

bis zu 690000 Teile pro Quadratkilometer. In vielen Fällen ist der Müll harmlos. Immer wieder aber sterben Tiere daran, die am Meeresgrund nach Nahrung jagen – Robben oder Otter zum Beispiel, die sich von Fischen, Krebsen oder Seeigeln ernähren.

#### Winzig klein und doch gefürchtet - Mikroplastik

Seit einigen Jahren konzentrieren sich Wissenschaftler zunehmend auf das, was vom Plastikmüll übrig bleibt, wenn er Wellen, Salzwasser und Sonnenstrahlung lange ausgesetzt war. Die Kunststoffe zerfallen in winzig kleine Plastikteilchen, das sogenannte Mikroplastik. Mikroplastik lässt sich heute weltweit vielerorts im Wasser, in Sänden und im Sediment am Meeresboden nachweisen. Die winzigen Partikel sind mit 20 bis 50 Mikrometer kleiner als der Durchmesser eines Haares. Meeresorganismen wie etwa Muscheln filtern diese Partikel aus dem Wasser. In Experimenten konnte nachgewiesen werden, dass sich das Mikroplastik nicht nur im Magen der Schalentiere sammelt, sondern im Gewebe und sogar in der Körperflüssigkeit anreichert. Noch ist unklar, welche Konsequenzen das hat. Da viele Kunststoffe giftige Zusätze wie Weichma-

cher, Lösemittel oder andere chemische Substanzen enthalten, wird befürchtet, dass Mikroplastik zur Vergiftung von Meereslebewesen und über die Nahrungskette möglicherweise auch des Menschen führen könnte.

## Die stillen Fänger - Geisternetze

Eine besondere Bedrohung für Meereslebewesen sind sogenannte Geisternetze. Dabei handelt es sich um Netze, die beim Fischen abgerissen und verloren gegangen sind, oder um beschädigte Altnetze, die absichtlich über Bord geworfen wurden. Solche Netze können noch für Jahre im Meer treiben. Sie sind eine Gefahr für Fische, Schildkröten, Delfine und andere Organismen, die darin hängen bleiben und verenden. In dem schwebenden Wirrwarr verfangen sich weitere Netze, Fangleinen oder andere Müllteile, sodass die Geisternetze mit der Zeit zu Flößen von vielen Hundert Metern Durchmesser anwachsen können. Manche Netze sinken auf den Meeresboden ab und können dort beträchtlichen Schaden anrichten. Getrieben von der Strömung, können sie Korallen abreißen und andere Lebensräume, wie zum Beispiel Wälder aus Meeresschwämmen, schädigen.

#### Die Folgen der Vermüllung für den Menschen

Lange hielt man den Müll in den Meeren für ein rein ästhetisches Problem. Allein die Seebäder bekämpften den Müll, indem sie regelmäßig die Abfälle vom Strand räumten. Doch in dem Maße, wie die Müllmassen wuchsen, nahmen die Probleme zu. Wie die Menge des Mülls selbst lassen sich auch seine Folgekosten nur schwer quantifizieren. In einer Studie aber konnten britische Forscher zeigen, dass die Konsequenzen der Vermüllung für den Menschen und insbesondere die Küstengemeinden durchaus ernst sind. Zu den wichtigsten Folgen zählen:

- Gesundheitsrisiken für den Menschen: Verletzungsgefahr durch Glasscherben, angespülte Spritzen oder Chemikalien;
- steigende Kosten für die Säuberung von Stränden, Häfen oder Meeresabschnitten und Folgekosten durch Bereitstellen von Installationen für die Entsorgung;
- abschreckende Wirkung auf Touristen, insbesondere wenn Küstenabschnitte als verschmutzt gebrandmarkt sind – die Folge sind Einbußen im Fremdenverkehrsgeschäft:
- Schäden an Schiffen: zerbeulte Rümpfe, abgerissene Anker, Schiffsschrauben, die sich in Netzresten oder Leinen verfangen;
- Schäden für die Fischerei: zerrissene Netze, verschmutzte Reusen, verschmutzte Fänge; die Menge des gefange-

- nen Fisches kann durch mit Müll verstopfte Netze abnehmen;
- Schäden für die Landwirtschaft entlang der Küsten: verschmutzte Felder, Raine und Zäune durch zahlreiche herangewehte Plastik- und Müllteile aus dem Meer; Vergiftung von Vieh durch Fressen von Plastikteilen, Tüten.

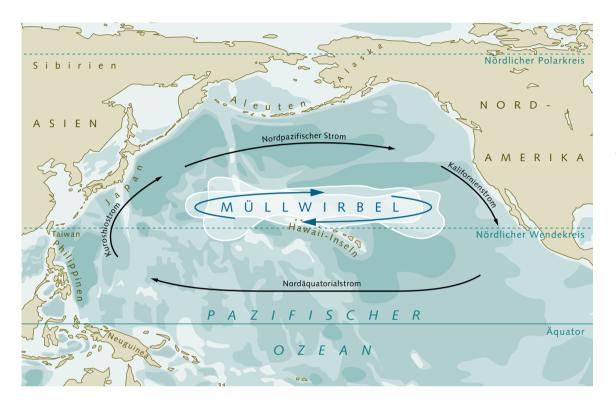
#### Die Folgen der Vermüllung für die Tiere

Geradezu katastrophal wirkt sich die große Menge an Müll auf Meerestiere aus. Seevögel, wie etwa Albatrosse oder Eissturmvögel, picken Plastikteile von der Wasseroberfläche, verschlucken diese und verfüttern sie oftmals sogar an ihre Jungen. Nicht selten verhungern die Tiere, weil sich ihr Magen statt mit Nahrung mit Müll füllt. Untersuchungen des Mageninhalts von Seevögeln haben gezeigt, dass 111 von 312 Seevogelarten Plastikteile zu sich nehmen. Zum Teil hatten 80 Prozent aller Vögel einer Art Abfälle geschluckt.

In einer anderen Studie wurden 47 Nordseeschweinswale untersucht. Zwei Individuen hatten Nylonfäden und Plastikteile verschluckt. In anderen Fällen kann der Abfall sogar zur tödlichen Falle werden. So verheddern sich Delfine, Schildkröten, Seehunde oder Seekühe in Netzresten oder Schnüren. Manche Tiere ertrinken. Andere tragen Verkrüpplungen davon, weil Plastiknetze und -fäden oder







4.12 > Im Great
Pacific Garbage Patch
zwischen Hawaii und
Nordamerika kreisen
Unmengen von Müll.
Viele Plastikteile
trieben Tausende von
Kilometern über das
Meer, ehe sie vom
Wasserwirbel eingefangen wurden.

Gummiringe das Wachstum der Gliedmaßen oder des Körpers behindern.

Und noch eine Gefahr geht vom Plastikmüll aus: Da die unverwüstlichen Abfälle Tausende von Seemeilen über das Meer treiben und viele Jahre alt werden können, stellen sie für viele Meerestiere ideale Flöße dar. Fremde Arten können auf ihnen ganze Ozeane überqueren und Distanzen überbrücken, die sonst unüberwindlich wären. Der Plastikmüll kann damit zur Verschleppung von Arten in neue Lebensräume beitragen. In einzelnen Fällen kann dadurch das Gleichgewicht eines Habitats aus den Fugen geraten (Kapitel 5).

#### Einsicht ist der erste Weg zur Besserung

Nur langsam setzt sich die Einsicht durch, dass der Meeresmüll ein ernst zu nehmendes Problem ist. Das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (United Nations Environment Programme, UNEP) bemüht sich daher, durch intensive Öffentlichkeitsarbeit auf die gefährliche Situation aufmerksam zu machen. Das Programm ist vor allen Dingen bemüht, die Lage auf regionaler Ebene in Zusam-

menarbeit mit Nichtregierungsorganisationen und staatlichen Behörden zu verbessern. Dazu gehören Praktiken und Regelungen, die in Westeuropa zum Teil bereits selbstverständlich sind: Systeme für die Mülltrennung und das Recycling sowie Flaschenpfand. So zeigen diverse Müllerfassungen deutlich, dass der Abfall in der Nordsee weniger vom Land als vielmehr vom Schiffsverkehr stammt. In vielen Staaten ist die Situation anders. Hier wird Müll oftmals unachtsam in die Umwelt entsorgt und früher oder später ins Meer gespült. Der Schiffsverkehr spielt dort eine eher kleine Rolle. Daher weist das UNEP nachdrücklich auf die Bedeutung effizienter Müllmanagementsysteme hin.

Darüber hinaus unterstützt das UNEP medienwirksame Müllsammelaktionen, wie etwa das jährliche International Coastal Cleanup (ICC), die Internationale Küstensäuberung. Weltweit sammeln Ehrenamtliche und vor allem Kinder und Jugendliche den Müll an Stränden und Ufern auf. Das Ziel ist, vor allem bei jungen Menschen ein Bewusstsein für das globale Meeresmüllproblem zu schaffen. Allein im Jahr 2009 beteiligten sich am ICC immerhin rund 500 000 Menschen aus knapp 100 Nationen. Bevor



man den gesammelten Abfall an Land entsorgt, wird jedes Einzelteil protokolliert. Zwar werden die Daten von Laien erfasst und sind damit durchaus fehlerbehaftet. Dennoch liefert der International Coastal Cleanup alljährlich einen recht detaillierten Eindruck des Müllstatus weltweit.

Überhaupt ist die Erfassung von Abfällen im Meer, das regelmäßige Monitoring, ein wichtiges Werkzeug, um abschätzen zu können, wie sich die Situation entwickelt. In verschiedenen Regionen der Welt werden die Müllfunde an der Küste bereits seit vielen Jahren von geschulten Personen protokolliert. Für den Bereich des Nordostatlantiks etwa gibt es bereits seit zehn Jahren einheitliche Erfassungsstandards, die die Mitgliedsländer der Oslo-Paris-Konvention (OSPAR) zum Schutz der Meeresumwelt vereinbart haben. Demnach wird drei- bis viermal jährlich an rund 50 verschiedenen Orten am Nordostatlantik ein je 100 Meter breiter Küstenstreifen abgesucht. Die Erkenntnis, dass der Müll in der Nordsee vor allem aus der Schifffahrt stammt, ist diesem Monitoring zu verdanken.

#### Vereinbarungen mit geringer Schlagkraft

Seit einigen Jahren versucht man die Müllflut mit internationalen Vereinbarungen einzudämmen. Dazu zählt unter anderem das Internationale Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung (MARPOL 73/78). In Anhang V schreibt es der Schifffahrt seit 1988 vor, welche Abfälle an Bord gesammelt werden müssen. Laut MARPOL dürfen beispielsweise Speisereste nur außerhalb der 12-Seemeilen-Zone entsorgt werden. Plastikmüll darf nicht über Bord geworfen werden. Die EU-Richtlinie über Hafenauffangeinrichtungen für Schiffsabfälle und Ladungsrückstände wiederum schreibt Schiffen vor, Abfälle im Hafen zu entsorgen. Häfen sind verpflichtet, dafür adäquate Müllsammelstellen einzurichten. Die Schiffseigner müssen sich über eine Gebühr an den Kosten beteiligen.

Entsorgt ein Schiffsführer die Abfälle nicht, können die Hafenbehörden den nächsten Zielhafen des Schiffs informieren, wo dann eine Überprüfung des Schiffs angeordnet werden kann. Kritiker bemängeln, dass die Überprüfung der Schiffe und die Kommunikation zwischen den Häfen nicht ausreichend ist. Die Tatsache, dass die Müllmengen an der Nordseeküste bislang nicht abgenommen haben, spricht ebenfalls dafür, dass die internationalen Vereinba-

rungen nicht schlagkräftig genug sind. Anhang V des MARPOL-Übereinkommens wird daher überarbeitet. Gegen die Müllmengen, die von Land ins Meer gelangen, können die Vereinbarungen ohnehin nichts ausrichten. Besserung erhofft man sich von der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie, mit der die EU den Meeresumweltschutz bis zum Jahr 2020 verbessern will. Neben Aspekten wie der Meeresverschmutzung durch Schadstoffe oder der Lärmbelastung von Meeressäugern behandelt die Richtlinie auch das Thema Müll. Bis zum Jahr 2012 wird die momentane Situation analysiert, bis 2015 soll ein Maßnahmenkatalog verabschiedet werden. 2020 sollen dann alle Maßnahmen umgesetzt sein.

#### Der künftige Kampf gegen den Müll

Experten sind sich darin einig, dass man die Vermüllung der Meere nur stoppen kann, wenn man den Eintrag von Land eindämmt. Im Sinne des UNEP werden viele Staaten dafür wirksame Müllvermeidungs- und Müllmanagementpläne entwickeln müssen. Angesichts der gigantischen Müllmengen erscheint das heute fast aussichtslos. Vielversprechend ist daher der Ansatz der Umweltbildung und -erziehung. Die Popularität des International Coastal Cleanup lässt hoffen, dass sich weltweit die Einsicht durchsetzt, Müll vermeiden zu müssen.

Was das Problem der Geisternetze betrifft, mahnt das UNEP stärkere Kontrollen an. Fischer sollen demnach überprüft werden und über den Verbleib ihrer Netze Buch führen müssen. Darüber hinaus arbeitet man an der Entwicklung von akustisch reflektierenden Netzen, die beispielsweise von Delfinen besser wahrgenommen werden können. Erfreulich ist auch das Konzept Fishing for Litter, das sich derzeit in Schottland und Skandinavien etabliert. Fischer und Hafenbehörden haben sich zusammengetan, um Müll, der beim Fischfang in den Netzen hängen bleibt, an Land zu entsorgen. Statt den Müll ins Meer zurückzuwerfen, wird er an Bord gesammelt und schließlich im Hafen abgeliefert. Inzwischen arbeitet man an Anlagen, mit denen Netzreste recycelt werden sollen. Damit wird deutlich, dass sich das globale Müllproblem vermutlich nur durch viele Einzelmaßnahmen lösen lässt. Ohne ein weltweites Engagement der Menschen wird das freilich nicht möglich sein.

# Die Verschmutzung der Meereslebensräume durch Öl

> Die Verschmutzung der Ozeane durch Öl ist eine der auffälligsten Formen von Umweltschäden im Meer. Öl gelangt nicht allein durch spektakuläre Unfälle von Tankern oder auf Bohrplattformen ins Wasser, sondern vor allem auch aus diffusen Quellen – aus Leckagen bei der Ölförderung, durch illegale Schiffstankreinigungen auf See oder über die Flüsse. Mit Maßnahmen wie der Ausweisung von Meeresschutzgebieten, verstärkten Kontrollen oder dem Einsatz von Doppelhüllentankern versucht man heute, die Ölverschmutzung einzudämmen.

#### Wie das Öl ins Meer gelangt

Von der Verschmutzung der Meere durch Öl nimmt die Öffentlichkeit meist dann Notiz, wenn ein Öltanker in schwerer See zerbricht oder eine Plattform havariert, wie im Frühjahr 2010 die "Deepwater Horizon" im Golf von Mexiko. In solchen Fällen treiben oftmals Ölteppiche auf die Küsten zu und Meeresvögel oder Seehunde verenden. Spektakuläre Tankerunfälle aber tragen nur etwa zu 10 Prozent zur globalen Ölverschmutzung der Meere bei. Das meiste Öl gelangt auf vielen, eher verborgenen Wegen ins Wasser. Entsprechend ungenau sind die Schätzungen der weltweiten Einträge. Rund 5 Prozent stammen aus natürlichen Quellen, circa 35 Prozent aus dem laufenden Betrieb der Tank- und übrigen Schifffahrt inklusive illegaler Einleitungen und Tankreinigungen. Darüber hinaus werden zu den Öleinträgen auch die flüchtigen Ölbestandteile gegröhlt die nur Verbrangungsprozessen verschip.

teile gezählt, die aus Verbrennungsprozessen verschiedener Art über die Atmosphäre ins Wasser

gelangen. Dieser atmosphärische Anteil bringt es zusammen mit den Einträgen aus kommunalen und industriellen Abwässern sowie aus Bohrinseln auf immerhin 45 Prozent. Weitere 5 Prozent stammen aus nicht näher definierten Quellen.

Abgesehen davon, dass heute zunehmend pflanzliche Öle wie etwa Palmöl produziert werden und damit auch in die Umwelt gelangen, handelt es

sich bei Ölverschmutzungen zum allergrößten Teil um Öle aus fossilen Quellen. Diese sind in Jahrmillionen aus Ablagerungen mikroskopisch kleiner Meeresorganismen, vor allem Kieselalgen, entstanden (Kapitel 7). Dieses Rohöl besteht aus etwa 10000 unterschiedlichen Einzelsubstanzen. Davon machen Kohlenwasserstoffe mit mehr als 95 Prozent den Hauptbestandteil aus, wobei die genaue Zusammensetzung von Entstehungsort zu Entstehungsort stark schwanken kann. Daneben enthält Rohöl Schwermetalle und Stickstoffverbindungen.

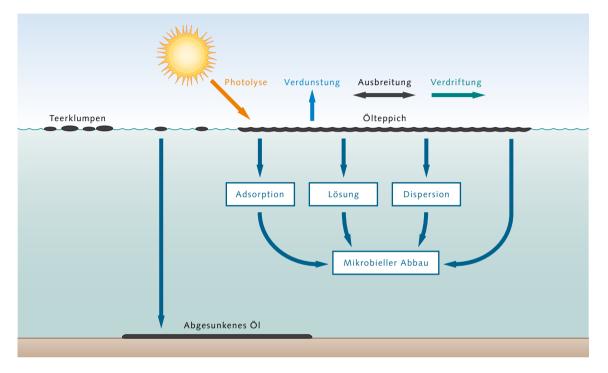
Wie stark Mineralöle und ihre Inhaltsstoffe die verschiedenen Meereslebensräume mit ihren Pflanzen und Tieren in Mitleidenschaft ziehen, ist von Fall zu Fall sehr verschieden. Große Ölunfälle stellen die massivste Störung dar, wobei die Auswirkungen meist regional begrenzt sind. Seit der Havarie des Tankers "Torrey Canyon" im Jahr 1967, der mit rund 115 000 Tonnen Öl auf ein Riff vor der südenglischen Küste auflief und damit die erste große Ölpest verursachte, hat es viele Feldstudien gegeben, die mittlerweile eine recht klare Abschätzung der Folgen unterschiedlicher Öle auf Organismen und Lebensräume zulassen. Doch kein Ölunfall gleicht dem anderen bis ins Detail, denn welche Folgen ein solcher hat, hängt von verschiedenen Bedingungen ab.

Entscheidend ist beispielsweise, wie schnell das Öl abgebaut wird oder von der Meeresoberfläche in die Tiefe absinkt, wo es vergleichsweise wenig Schaden anrichten kann. Dieser Abbau wird durch physikalische, chemische und biologische Prozesse beeinflusst. Je nach Umgebungsbedingungen, zum Beispiel Temperatur, Nährstoffgehalt im Wasser, Wellenschlag, dauert der bakterielle Abbau der Erdölkohlenwasserstoffe unterschiedlich lang. In den ersten Stunden, mitunter aber auch Wochen wird das Öl vor allem durch folgende chemische und physikalische Vorgänge verändert:

- · Verdunstung von flüchtigen Ölbestandteilen;
- Ausbreitung des ausgelaufenen Öls in Form von großen Ölteppichen, die auf der Wasseroberfläche treiben;

4.14 > Öl gelangt auf verschiedenen Wegen ins Meer. Gut ein Drittel stammt allein aus dem regulären Schifffahrtsbetrieb – ohne dass sich Unfälle ereignen.





4.15 > Das Öl wird im Meer auf ganz unterschiedliche Weise verändert und abgebaut, Meist bildet es direkt nach einem Unfall breite Teppiche, die auf dem Wasser schwimmen. Während ein Teil des Öls verdunstet oder absinkt, werden andere Ölbestandteile von Bakterien verarbeitet oder durch die Sonnenstrahlung zerstört. Schließlich verklumpt das Öl, was den bakteriellen Abbau erschwert.

- Bildung von Dispersionen (kleine Öltröpfchen in der Wassersäule) und Emulsionen (größere Öltropfen im Wasser oder Wasser in Öl);
- Photooxidation (molekulare Veränderung von Ölbestandteilen durch Lichteinstrahlung) und Lösung.

Prozesse wie die Sedimentation und der Abbau durch Bakterien hingegen können sich über Monate oder sogar Jahre hinziehen. Unter günstigen Bedingungen sind sie in manchen Fällen aber bereits innerhalb weniger Tage abgeschlossen. Der Grund für diese Diskrepanz: Zum einen werden die verschiedenen im Öl enthaltenen Stoffgruppen unterschiedlich schnell biologisch abgebaut. Die Abbaugeschwindigkeit hängt vor allem von der molekularen Struktur der Ölbestandteile ab. Je komplexer die Kohlenwasserstoffmoleküle sind, desto länger dauert der Abbau durch Mikroorganismen. Zum anderen wird die Abbaugeschwindigkeit der verschiedenen Kohlenwasserstoffe durch die folgenden Faktoren erhöht:

- hohe Temperaturen (fördert Bakterienaktivität);
- große Oberfläche des Ölteppichs (Vergrößerung gegebenenfalls durch Einsatz von Dispersionsmitteln, sogenannten Dispergatoren, oberflächenaktiven Substanzen, die eine Bildung von Dispersionen begünstigen);

- gute Sauerstoffversorgung der Bakterien;
- gute Nährstoffversorgung der Bakterien;
- geringe Menge an Fressfeinden, die die Zahl der Bakterien reduzieren würden.

Einige der oben genannten Prozesse beeinflussen das Ausmaß der Ölschäden ganz erheblich. So führt zum Beispiel die Bildung von Wasser-in-Öl-Emulsionen zur Entstehung des "chocolate mousse". Diese Erscheinungsform des Öls kann das bis zu Vierfache des ursprünglichen Volumens einnehmen, macht eine Bekämpfung durch chemische Dispergatoren unmöglich und erschwert das Abpumpen von der Wasseroberfläche.

#### Wie das Öl die Lebensräume schädigt

Da sich im Fall eines großen Ölunfalls meist nicht die gesamte Küste schützen lässt, müssen die Behörden bei der Ölbekämpfung Prioritäten setzen. Besonders schützenswert sind natürlich bestehende offizielle Schutzgebiete wie Nationalparks oder empfindliche Meeresgebiete. Bei der Bekämpfung der Ölverschmutzung haben sie in jedem Fall eine hohe Priorität. Meist sind aber selbst die Schutzgebiete zu groß, um sie in Gänze zu schützen. Hier

können sogenannte Sensitivitätsabstufungen helfen, die beschreiben, wie empfindlich die verschiedenen Küstenabschnitte gegenüber Ölverschmutzungen sind. In Ausnahmefällen ist es sogar möglich, "Opfergebiete" zu definieren – im Sinne des Naturschutzes weniger wichtige Bereiche, die gar nicht geschützt werden.

Bei diesen Sensitivitätsabstufungen wird beispielsweise berücksichtigt, ob es sich um "energiereiche" Küstenformationen wie etwa Fels- oder Sandküsten handelt, die direkt von der Brandung umspült werden, oder um vergleichsweise ruhige, "energiearme" Gebiete, wie zum Beispiel das Wattenmeer, die durch Sandbänke oder vorgelagerte Inseln geschützt sind. Natürlich können auch innerhalb der hier beschriebenen großen Lebensräume weitere detaillierte Sensitivitätsabstufungen für die gezielte Ölbekämpfung vorgenommen werden.

EXPONIERTE FELS- UND SANDKÜSTEN: Als vergleichsweise wenig empfindlich werden exponierte Felsund Sandküsten eingestuft, da sie durch Wellenschlag recht schnell von angeschwemmtem Öl gereinigt werden. Dennoch können schwere Ölunfälle die Zusammensetzung der Artengemeinschaften in diesen Lebensräumen für längere Zeit verändern. In solchen Fällen können die Bestände ehemals dominierender Arten wie zum Beispiel Krebs- und Weichtiere abnehmen. In Felsspalten, grobem Kies und in Muschelbänken kann sich das Öl durchaus mehrere Jahre lang halten.

SANDSTRÄNDE: Im Fall der Sandstrände ist die Situation anders. Wie stark das Öl in den Boden eindringt und wie lange es dort verbleibt, hängt vor allem von der Gestalt des Strandes ab: Ein weitläufiger Strand mit wenig Brandung und verzweigten Prielsystemen beispielsweise ist wesentlich anfälliger als ein steiler, gleichförmiger Strand. Grobkörniges Sediment erleichtert das Eindringen des Öls, erschwert die Reinigung und erhöht die Gefahr von Folgeschäden durch wieder freikommendes Öl. Als besonders empfindlich werden Strandgebiete eingestuft, die von gefährdeten Arten wie etwa Schildkröten als Lebens- oder Reproduktionsraum genutzt werden.

KORALLENRIFFE: Auch Korallenbestände reagieren offenbar empfindlich auf Ölverschmutzungen. Verschiedene Untersuchungen machen deutlich, dass sich geschädigte Korallenbestände nur langsam regenerieren. Ölverschmutzungen können zudem ganze Lebensgemein-

schaften verändern. So können sich bei Ölverschmutzungen beispielsweise wenig empfindliche Algenarten ansiedeln, wo zuvor Korallen lebten. Kaum untersucht ist bisher, wie sich Ölunfälle auf die Beziehungen zwischen Korallen und den vielen mit ihnen assoziierten Arten auswirken. Die enge Verzahnung zahlreicher spezialisierter Arten und die hohe Bedeutung von Symbiosen innerhalb solcher Ökosysteme lassen nach schweren Ölunfällen weitreichende Langzeitfolgen erwarten.

MANGROVEN: Mangroven zählen zu den Lebensräumen, die besonders empfindlich auf Ölverschmutzungen reagieren. Dort kann ein Ölunfall vor allem Bäume sowie die auf ihnen und im Sediment siedelnden empfindlichen Tiere stark schädigen – zum einen durch giftige Kohlenwasserstoffe, zum anderen durch die Abdeckung mit Öl und das Abschneiden von der Luft- und Frischwasserzufuhr. Die Regeneration der geschädigten Pflanzen- und Tierbestände ist ein langwieriger Prozess. Da in den Mangroven die schädlichen Kohlenwasserstoffe nur langsam aus dem Sediment freigesetzt werden, wird die Erholung des Lebensraums noch zusätzlich verzögert.

WEICHBÖDEN UND PLATEN: Als besonders empfindlich oder hoch sensitiv werden auch Küstenbereiche mit Weichböden und Platen (Sandbänken) wie etwa das Wattenmeer an der Nordseeküste eingestuft. Die in hoher Dichte auf und in dem Sediment lebenden Organismen dienen Fischen und Vögeln als Nahrungsgrundlage. Zwar dringt meist nur wenig Öl in die oft wassergesättigten feinen Poren schlickiger Böden ein. Diese sind aber in der Regel dicht von grabenden Tieren besiedelt, durch deren Gänge das Öl tiefer in den Boden sinkt. Andererseits trägt die als Bioturbation bezeichnete grabende Tätigkeit der Bodenorganismen zum Ölabbau bei. Das Sediment wird umgewälzt. Tiefere Schichten werden belüftet und verölte Sedimente an die Oberfläche befördert. Dank der guten Sauerstoffversorgung wird das Öl dort schneller durch Bakterien abgebaut. Werden die Bodenlebewesen jedoch vom Öl getötet, stoppt die Bioturbation. Damit verbleibt das Öl länger im Boden und beeinträchtigt den Lebensraum langfristig.

SALZWIESEN: Wie sich Öl auf die wirbellose Fauna von Salzwiesen wie etwa Insekten oder Würmer auswirkt, wurde bisher kaum untersucht. Die Vegetation allerdings kann durch Verölungen über lange Zeit geschädigt wer-



#### Verklebt und vergiftet - die Konsequenzen für Pflanzen und Tiere

Die wohl bekannteste durch Öl hervorgerufene Schädigung von Lebewesen ist die Verschmutzung des Gefieders von Wasservögeln. Die Verunreinigung führt dazu, dass dessen lebenswichtige Funktionen, Wasserabweisung und Wärmeisolierung, nicht mehr gewährleistet sind. Wenn größere Teile des Gefieders verschmutzt sind, kühlt der Vogel aus und stirbt. Ähnlich kann sich die Verölung des Fells von Meeressäugern auswirken. Verklebtes Fell isoliert nicht gegen kalte Luft und kaltes Wasser. Die Tiere werden geschwächt und können ebenfalls sterben.

Bei Pflanzen führt eine Verölung der Triebe dazu, dass der Gastransport von den Blättern zu den Wurzeln unterbrochen wird, sodass die Pflanze eingeht. Wasserfiltrierer wie Muscheln, aber auch Organismen wie Schnecken und Würmer, die ihre Nahrung vom Boden aufsammeln, nehmen Öl häufig mit der Nahrung auf. Die giftigen Kohlenwasserstoffe können sogar in den Nahrungsketten weitertransportiert werden, etwa durch Tiere, die ölverschmutzte Muscheln fressen. Vögel und Säugetiere verschlucken häufig Öl, wenn sie versuchen, ihr verunreinigtes Gefieder oder Fell zu reinigen. Weichhäutige Tiere wie zum Beispiel Fische und viele Wirbellose nehmen Erdölkohlenwasserstoffe hingegen hauptsächlich über die Haut und insbesondere die stark durchspülten Kiemen auf.

Die Erdölkohlenwasserstoffe können auf verschiedene Organismen ganz unterschiedlich wirken. Bei vielen Tieren werden vor allem das Wachstum und der Stoffwechsel beeinträchtigt. Studien zeigten, dass Hummer und Wattwürmer mit verminderter Nahrungsaufnahme reagierten. Miesmuscheln und Fische wiederum wuchsen unter dem Einfluss von Ölverschmutzungen schlechter. Immer wieder beobachtet man Verhaltensänderungen als Reaktion auf Verölungen. Robben zeigten ein ausgesprochen lethargisches Verhalten, was auf Nervenschädigungen durch das Einatmen flüchtiger Erdölkohlenwasserstoffe unmittelbar nach einem Ölunfall zurückgeführt wurde.

Auch die Fortpflanzung zahlreicher Meeresorganismen wird in Mitleidenschaft gezogen. So kann eine Vergiftung durch Öl zu genetischen Schäden führen: Bei Lachsen erhöhte sich nach einem Ölunfall die Sterblichkeit der Eier. Bei Heringen wiederum waren zahlreiche frisch geschlüpfte Nachkommen missgebildet. Auch für Mangrovenbäume konnte man nachweisen, dass sich mit der Konzentration bestimmter Kohlenwasserstoffe im Sediment die Zahl genetischer Mutationen erhöht. Häufig schädigen die toxischen Ölinhaltsstoffe auch die Reproduktionsorgane der Meeresorganismen. So erhöhte sich die Zahl steriler Muscheln im Jahr nach einem Ölunfall deutlich. Für Korallen konnte gezeigt werden, dass in chronisch ölverschmutzten Gebieten die Zahl der Nachkommen abnimmt.

Hinzu kommt bei vielen Meerestieren ein Orientierungsverlust, denn viele Organismen finden sich in ihrer Umwelt zurecht, indem sie feinste Konzentrationen bestimmter Substanzen wahrnehmen. Auf diese Weise sind sie in der Lage, Beute, Feinde oder Sexualpartner zu lokalisieren. Bei diesen natürlichen Substanzen handelt es sich um biogene Kohlenwasserstoffe, deren molekularer Aufbau manchen Kohlenwasserstoffen aus Rohöl ähnelt. Gelangen durch einen Ölunfall große Mengen der fremden Kohlenwasserstoffe ins Wasser, sind die natürlichen Stoffe kaum mehr wahrnehmbar. Das erschwert die Suche nach einem Sexualpartner oder nach Nahrung erheblich.



4.17 > In der Bucht von San Francisco versucht sich ein Vogel vom Öl zu befreien, das das Containerschiff "Cosco Busan" 2007 nach einer Kollision mit einem Brückpfeiler verloren hat. Unfälle wie dieser tragen mit zur chronischen Ölverschmutzung der Meere bei. den, was weitreichende Folgen für die in den Wiesen brütenden und rastenden Vögel mit sich bringt, die entweder ebenfalls verölt werden oder ihre Nahrungsgrundlage verlieren können.

Zusammenfassend können folgende Regenerationszeiten angenommen werden:

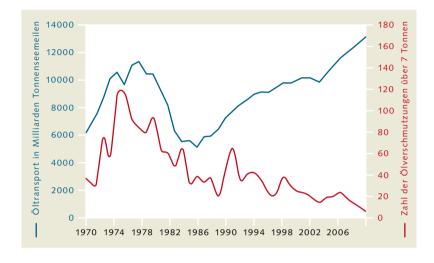
- exponierte Fels- und Sandküsten: wenige Monate bis 5 Jahre;
- geschützte Felsküsten und Korallenriffe: 2 bis mehr als 10 Jahre;
- geschützte Weichböden, Salzwiesen und Mangroven:
   2 bis mehr als 20 Jahre.

# Bekämpfung von Ölunfällen und Ölverschmutzung

Einmal abgesehen von Ölunfällen in der Tiefsee wie etwa nach der Explosion der Ölplattform im Frühjar 2010 im Golf von Mexiko, lässt sich eine Ölverschmutzung am besten bekämpfen, solange das Öl noch auf dem Wasser schwimmt. In technischer Hinsicht bevorzugen einige Staaten die ausschließlich mechanische Bekämpfung, beispielsweise mit Ölskimmern oder auf dem Wasser schwimmenden Ölbarrieren.

Andere befürworten eine chemische Bekämpfung, überwiegend mit Dispergatoren, die oftmals in großen Mengen von Flugzeugen versprüht werden. Wie gut diese Chemikalien wirken, hängt allerdings sehr stark von der Art des Öls und von seinem Zustand ab. Ein Problem ist, dass Dispergatoren grundsätzlich nur kurze Zeit nach einem Unfall eingesetzt werden können, da die oben erwähnten chemisch-physikalischen Prozesse die Wirkung bereits nach wenigen Stunden verhindern. Für den Fall, dass herantreibende Ölteppiche empfindliche Küstenabschnitte bedrohen, kann ihr Einsatz aber durchaus sinnvoll sein. Dank der Dispergatoren sinkt das Öl von der Oberfläche in die Tiefe ab. Damit verringert sich die Gefahr, dass Seevögel oder empfindliche Pflanzen verölt werden.

Bei der Havarie der Bohrinsel "Deepwater Horizon" 2010 strömte das Öl jedoch in großer Wassertiefe aus dem Bohrloch und befand sich, teilweise als riesige Ölwolke, im gesamten Wasserkörper. Für Unfälle dieser Art und diesen Ausmaßes gibt es bislang nur wenig Erfahrung. Zur Erstbekämpfung wurden enorme Mengen von Dispersi-



4.18 > Obwohl die über die Ozeane transportierte Ölmenge seit den 1970er Jahren deutlich gestiegen ist, hat die Zahl der durch Tankerunfälle, technische Defekte oder Unachtsamkeit verursachten Ölverschmutzungen im Meer deutlich abgenommen. Der Einbruch des Öltransports in den späten 1970er Jahren ist auf die damalige Wirtschaftskrise zurückzuführen. Berücksichtigt wurden in der Statistik Kontaminierungen mit über 7 Tonnen Öl, da kleinere Verschmutzungen meist nicht ausreichend erfasst werden.

onsmitteln eingesetzt, mit bisher nicht absehbaren ökologischen Folgen.

Auch die sogenannte Bioremediation kann in geeigneten, vor allem nährstoffarmen Meeresgebieten erfolgreich sein. Bei diesem Verfahren gibt man Nährstoffe ins Wasser, die das Wachstum Öl abbauender Bakterien fördern. Für alle Bekämpfungsstrategien gilt grundsätzlich, dass sie nur dann sinnvoll und effektiv eingesetzt werden können, wenn sie Teil eines übergeordneten nationalen Bekämpfungsplans (Contingency Plan) sind, nach dem gut trainierte Einsatzkräfte im Ernstfall strukturiert vorgehen können. In den USA, Deutschland, den übrigen Nordseeanrainern und einigen anderen Staaten gibt es derartige Pläne bereits seit mehreren Jahren. Dort sind die Zeiten vorbei, in denen Behörden bei Ölunfällen mangels klarer Zuständigkeiten, hinreichenden Materials und genügend Personals oft wenig effektiv und unangemessen reagierten.

Doch solche technischen Managementstrategien allein reichen nicht. Für einen wirksamen Schutz des Meeres vor Ölverschmutzungen müssen globale und regionale Abkommen ausgearbeitet werden. Ferner muss man kon-





trollieren, ob diese tatsächlich umgesetzt und angewendet werden. Ein positives Beispiel ist das Internationale Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung (MARPOL 73/78), mit dem 1983 unter anderem Meeresschutzgebiete ausgewiesen wurden, in denen der Tankerverkehr ganz oder teilweise eingeschränkt ist. Das Übereinkommen bewirkte einen starken Rückgang der Tankerunfälle während der 1980er Jahre. MARPOL 73/78 brachte auch neue Auflagen zur betriebsbedingten Einleitung von Öl mit sich. Außerdem ebnete es den Weg zum Bau von Doppelhüllentankern. Zu einem weiteren Rückgang der Unfälle während der folgenden Jahrzehnte trugen sowohl der OPA (Oil Pollution Act) der Vereinigten Staaten von Amerika im Jahr 1990 als auch der von der Internationalen Seeschifffahrts-Organisation (International Maritime Organization, IMO) verabschiedete ISM-Code (International Management Code for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention) von 1998 bei.

## Die Zukunftsaussicht - verhalten optimistisch

Zweifellos hat sich die Verschmutzung der Ozeane mit Öl in den vergangenen Jahrzehnten verringert. Internationale Abkommen, die Ausweisung von Schutzgebieten und die verbindliche Einführung der Doppelhüllentanker tragen dazu bei. Gleichzeitig kann man angesichts der "Deepwater-Horizon"-Katastrophe kaum von einer entspannten Situation für die Meeresumwelt sprechen. Darüber hinaus wird sich die illegale Einleitung von Öl durch Tankreinigungen, die immerhin zu einem Drittel zur Verschmutzung beiträgt, ohne schärfere Kontrollen und drastische Strafen nicht wirklich bekämpfen lassen. Schwierig wird auch in Zukunft die Ölbekämpfung in Flachwassergebieten wie dem Wattenmeer bleiben, da Bekämpfungsschiffe bis heute kaum in Wassertiefen von weniger als 2 Metern arbeiten können. Auch das spricht dafür, die Sicherheit der Handelsschiffe weiter zu erhöhen.

#### Conclusio

#### Es gibt viel zu tun ...

Obwohl seit Jahrzehnten bekannt ist, dass die Verschmutzung der Meere katastrophale Folgen haben kann, setzt der Mensch auch heute noch Millionen Tonnen von problematischen Substanzen frei. Dazu zählen Stoffe, die bei der Herstellung oder dem Gebrauch von Produkten in die Umwelt gelangen, Abfälle oder auch Öl. In einem aber unterscheidet sich die heutige Situation von der früheren. Während die Menschheit bis vor wenigen Jahrzehnten ganz bewusst Abfälle in den Meeren entsorgte, gelangt heute der größte Teil der Abfall- und Schadstoffe auf vielen verschiedenen Wegen indirekt ins Meer.

Genau das macht die Bekämpfung der Verschmutzung so schwierig. Denn um die Situation zu verbessern, ist ein ganzes Bündel an Maßnahmen nötig. Um etwa die Überdüngung der Meere mit Nährstoffen in den Griff zu bekommen, müssen an Land Kläranlagen gebaut und die Menge der Düngemittel in der Landwirtschaft reduziert werden. Dass sich die Nährstofffracht dadurch tatsächlich reduzieren lässt, zeigt die steigende Wasserqualität in den Flüssen Westeuropas. Letztlich liegt es in der Verantwortung jeder einzelnen Nation, geeignete Maßnahmen zur Gewässerreinhaltung festzulegen.

Substanzen, die sich über die Luft in der Umwelt verbreiten, sind ungleich schwerer zu fassen. Das gilt für Stickstoffe aus der Verbrennung von Erdgas, Erdöl und Kohle genauso wie für Industriechemikalien wie etwa die polyfluorierten Verbindungen oder andere langlebige Moleküle. Auch hier müssen die Schadstoffe möglichst bereits an der Quelle aufgefangen werden.

Allerdings ist in manchen Fällen die Herkunft der Substanzen noch gar nicht bekannt. Eine vielversprechende Lösung sind hier fundierte Risikobewertungen, mit denen sich noch vor der Markteinführung einer Substanz abschätzen lässt, welche Gefahren von ihr ausgehen. Während sich Substan-

zen wie die polyfluorierten Verbindungen nur schwer fassen lassen, weil sie nicht nur bei der Produktion, sondern auch beim Gebrauch freigesetzt werden, liegt die Lösung für die Vermüllung der Ozeane auf der Hand: Abfall gehört in den Mülleimer. In Ländern wie den Niederlanden oder Deutschland ist das heute selbstverständlich, denn durch Recycling- oder Pfandsysteme hat man die Ströme der Einwegverpackungen recht gut kanalisiert. In vielen anderen Nationen aber fehlen Müllverwertungssysteme. Allerdings macht ein Abfallmanagement erst dann wirklich Sinn, wenn die Bevölkerung für das Problem Müll sensibilisiert ist. Inzwischen gibt es weltweit gute Beispiele für eine wirkungsvolle Umwelterziehung.

Anders als beim Müll gibt es bei der Ölverschmutzung eigentlich einen positiven Trend: Die Ölmengen im Meer nehmen seit Jahren ab. Ob dazu die schärferen Kontrollen von Handelsschiffen, Überwachungsflüge oder die verbesserte Schiffssicherheit beigetragen haben, lässt sich schwer sagen. Damit ist derzeit auch unklar, mit welchen Maßnahmen man die Ölverschmutzung künftig weiter wesentlich verringern kann. Sicher ist, dass man die Gefahr großer Tankerhavarien heute deutlich ernster nimmt als noch vor wenigen Jahren.

Katastrophen wie die Explosion der Ölplattform "Deepwater Horizon" im Golf von Mexiko machen aber deutlich, dass der Mensch dem Ölproblem immer wieder hilflos gegenübersteht. Offen ist derzeit, ob der Trend zur Ölförderung in immer größeren Tiefen die Verölung der Ozeane verschlimmert. Immerhin gibt es, wie das aktuelle Beispiel zeigt, bislang kaum Strategien für eine Ölbekämpfung in der Tiefsee. Die Entwicklung von Notfalltechnologien für die Ölförderung und das Bohren in großer Tiefe sind daher dringend geboten. Zwar hat die Erdölindustrie angekündigt, freiwillig eine schnelle Eingreiftruppe aufzubauen. Doch müssen diese Maßnahmen durch neutrale Instanzen überwacht werden.

#### Abbildungsnachweis

S. 74–75: U. S. Coast Guard/digital version by Science Faction/Getty Images, Abb. 4.1: Jochen Tack, Abb. 4.2: AP Photo/Eye Press, Abb. 4.3: Andre Maslennikov/Still Pictures, Abb. 4.4: nach van Bennekom und Wetsteijn (1990), www. waterbase.nl, Abb. 4.5: with courtesy of Nancy Rabalais, Louisiana Universities Marine Consortium, with MODIS true color image from the Earth Scan Lab, Louisiana State Univerity, Abb. 4.6: www.deff.de, Abb. 4.7: nach Böhlmann (1991), Abb. 4.8: nach Dietz et al. (2008), Abb. 4.9: maribus, Abb. 4.10: nach South Carolina Sea Grant Consortium, South Carolina Department of Health & Environmental Control; Ocean and Coastal Resource Management, Centers for Ocean Sciences Education Excellence Southeast; NOAA 2008, Abb. 4.11: Pierre Huguet/Biosphoto, Abb. 4.12: maribus, Abb. 4.13: Frans Lanting/Agentur Focus, Abb. 4.14: maribus, Abb. 4.15: nach GKSS, van Bernem, Abb. 4.16: David Woodfall/Getty Images, Abb. 4.17: Frederic Larson/San Francisco Chronicle/Corbis, Abb. 4.18: ITOPF, Fernresearch, Abb. 4.19: Xinhua/Landov/inter TOPICS

Reproduktion, Übersetzung in fremde Sprachen, Mikroverfilmung und elektronische Verarbeitung sowie jede andere Art der Wiedergabe nur mit schriftlicher Genehmigung der maribus gGmbH. Sämtliche grafischen Abbildungen im "World Ocean Review" wurden von Walther-Maria Scheid, Berlin, exklusiv angefertigt. Im Abbildungsverzeichnis sind die ursprünglichen Quellen aufgeführt, die in einigen Fällen als Vorlage gedient haben.

## **Impressum**

Gesamtprojektleitung: Jan Lehmköster

Redaktion: Tim Schröder Lektorat: Dimitri Ladischensky

Redaktionsteam Exzellenzcluster: Dr. Kirsten Schäfer, Dr. Emanuel Söding,

Dr. Martina Zeller

**Gestaltung und Satz:** Simone Hoschack **Bildredaktion:** Petra Kossmann

**Grafiken:** Walther-Maria Scheid für maribus **ISBN der Printversion:** 978-3-86648-000-1

Herausgeber: maribus gGmbH, Pickhuben 2, 20457 Hamburg

www.maribus.com