



Claus-Peter Hutter, Karin Blessing, Rainer Köthe

Grundkurs Nachhaltigkeit

Handbuch für Einsteiger und Fortgeschrittene

ISBN 978-3-96238-039-7

400 Seiten, 16,5 x 23,5 cm, 39,00 Euro

oekom verlag, München 2018

©oekom verlag 2018

www.oekom.de

5

DIE GROSSEN PROBLEME DER ERDE: LUFT, WASSER, KLIMA



Wir sind die erste Generation, die das eigene Wirken auf der Erde mittels moderner Satellitentechnik beobachten und bewerten kann. Vielleicht ist dies der Schlüssel, die Etablierung von Nachhaltigkeit schneller zu befördern.

Informationsteil

Das für die Umweltschutzbewegung vielleicht bedeutsamste Einzelbild schoss 1972 die Besatzung der US-amerikanischen Apollo-17-Mondmission aus 45 000 Kilometern Entfernung. Es wurde »Blue marble« (Blaue Murmel) genannt, denn es zeigt unsere Heimat als sonnenbeschienene blauweiße Kugel im Weltall. Vielen Menschen, die dieses Bild sahen, wurde dabei zum ersten Mal klar: Unsere Erde ist keineswegs für menschliche Maßstäbe nahezu unendlich und unerschöpflich, sondern schwebt als kleine, verletzbare Welt inmitten der gigantischen lebensfeindlichen Leere des Alls.

Das Bild zeigt einen wichtigen Teil dessen, was erst das Leben auf der Erde ermöglicht: den Reichtum an Wasser und die schützende Lufthülle. Beides macht unseren Planeten einzigartig unter allen bisher bekannten Himmelskörpern.

Leider hat sich seither immer deutlicher gezeigt, dass der Mensch auch mit diesen Lebensgrundlagen unvernünftig umgeht: Er verschmutzt Luft und Wasser und ist sogar dabei, das irdische Klima zu verändern. Doch klar ist auch: Ohne eine intakte Umwelt lässt sich Nachhaltigkeit nicht erreichen.

5.1 Wasser – unser blauer Reichtum

Die Erde ist reich an Wasser – ihre Ozeane bedecken etwa 71 Prozent der Erdoberfläche. Und auch Süßwasser ist, wenngleich räumlich unterschiedlich verteilt, in großen Mengen vorhanden. Denn ständig verdampft die Sonnenwärme Meerwasser, das dann zum Teil als Süßwasser über dem Festland wieder abregnet und schließlich ins Meer zurückkehrt – der ewige Wasserkreislauf.

Wasser bedeutet Leben. Nur wo es erreichbares Wasser gibt, ist die Erde grün, und es ist kein Zufall, dass die Hochkulturen an Flüssen wie Nil, Euphrat und Tigris, Indus oder Jangtse entstanden. In Deutschland wie in den meisten Industrieländern ist genügend Trinkwasser vorhanden. Es zählt zudem zu den saubersten und am besten kontrollierten Lebensmitteln. Doch nach Untersuchungen der UNESCO leiden mehr als zwei Milliarden Menschen in 40 Staaten unter Wassermangel, und 1,1 Milliarden haben gar keinen Zugang zu sauberem Wasser. Besonders in ärmeren Nationen ist dies die Hauptursache von Krankheiten und Todesfällen. Rund fünf Millionen

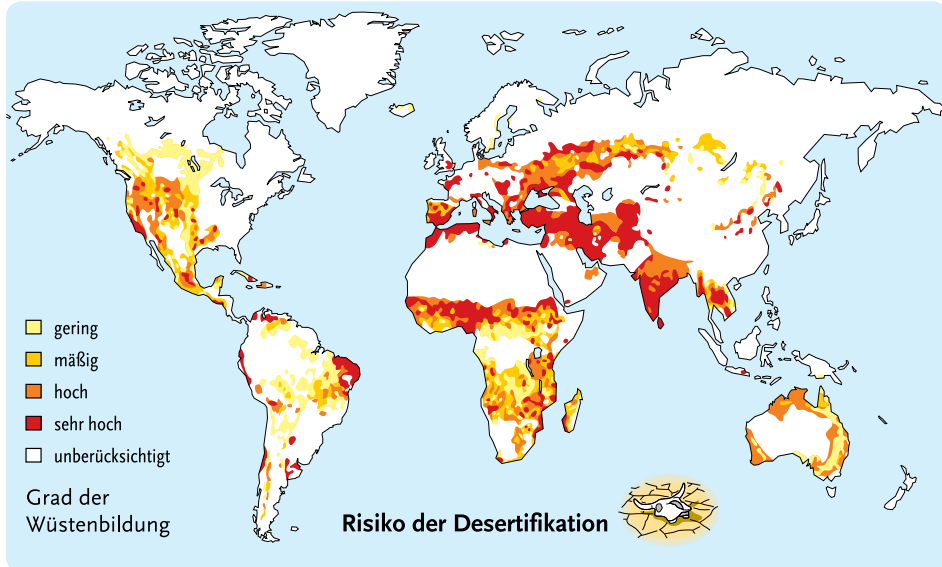


Abb. 19: Verwüstung und damit verbundener Wassermangel wird ein immer größeres Problem in vielen Teilen der Erde.

Menschen, nicht zuletzt Kinder, sterben pro Jahr an Krankheiten, die durch verschmutztes Wasser ausgelöst werden – etwa chronischer Durchfall und Cholera. In den kommenden Jahren werden Bevölkerungszuwachs und Klimaerwärmung die Probleme in manchen Regionen noch verschärfen.

Jeder Erwachsene braucht täglich etwa zwei Liter Wasser, bei schwerer körperlicher Arbeit in heißem Klima deutlich mehr. Dazu kommt Wasser zum Waschen, für die Reinigung von Körper, Wohnung und Geschirr, zur Toilettenspülung sowie eventuell zur Gartenbewässerung und zum Füllen von Swimming Pools. So liegt der tägliche Pro-Kopf-Verbrauch in Industrieländern zwischen etwa 100 und fast 1000 Litern – ein Vielfaches von dem, was eine Familie etwa in Nordafrika zur Verfügung hat.

Großverbraucher Landwirtschaft

Doch die größten Wasserverbraucher sind meist gar nicht die Privathaushalte und auch nicht die Industrie, sondern die Landwirtschaft. Besonders die Intensivlandwirtschaft verbraucht riesige Wassermengen zur Bewässerung und zur Gülleerzeugung (Schwemmentmischung) – rund fünf Mal so viel Wasser wie die herkömmliche extensive Bodenbewirtschaftung. Dadurch wurde vielerorts das Süßwasser knapp, und zudem traten Probleme wie Versalzung der Böden ein. Wie schnell Süßwasser-

vorräte durch übermäßige Entnahme für die Landwirtschaft schrumpfen, illustriert besonders deutlich der Aralsee. Noch 1960 war er der viertgrößte Binnensee der Erde. Inzwischen besteht er nur noch aus einigen kleinen, salzigen Wasserbecken in einer staubigen, durch Agrarchemikalien vergifteten Salzwüste – die ehemaligen Häfen sind heute bis zu 100 Kilometer vom Ufer entfernt. Sauberes Wasser wird zu einem der begehrtesten und eventuell sogar umkämpften Rohstoffe. Konflikte sind zum Beispiel programmiert, wenn Länder aus dem Oberlauf ihrer Flüsse zu viel Wasser entnehmen, das dann anderen Ländern am Unterlauf fehlt – das gilt etwa für Nil, Jordan, Euphrat und Tigris.

Grundwasser – die schlummernden Reserven

Rund 1,5 Milliarden Menschen können statt verunreinigtem Oberflächenwasser das meist noch vergleichsweise saubere, von Erdschichten gefilterte Grundwasser nutzen. Die UN hat eine Karte der weltweiten Grundwasser-Reserven veröffentlicht. Sie zeigt, dass hier fast hundertmal mehr Süßwasser schlummert als an der Oberfläche. Doch viele dieser Reserven lagern unter mehreren Staaten und sind damit ebenfalls konfliktrichtig. Zudem sind viele Grundwasservorräte begrenzt: Sie stammen aus feuchteren Klimaperioden und werden nicht, wie hierzulande, durch Niederschläge wieder aufgefüllt.



Abb. 20: Für viele Menschen auf der Erde ist der tägliche Zugang zu frischem, sauberem Wasser keine Selbstverständlichkeit.

Grundwasser

Das Wasser, das sich durch Hohlräume des Untergrunds bewegt, stammt von Niederschlägen, die meist einige Tage oder Wochen zuvor fielen, in manchen Fällen aber auch vor Jahrhunderten. Es sammelt sich über wasserundurchlässigen Schichten. Mit Brunnen oder durch Bohrlöcher kann man diese Wasservorräte erschließen. Sie bilden vielerorts die Grundlage der Trinkwassergewinnung, weil feine Sand- und Kiesschichten sowie dort lebende Bakterien das Wasser reinigen. Allerdings lösen sich dabei auch oft Gesteinsbestandteile wie Kalk oder Eisenverbindungen. Flüssigkeiten aus Müllablagerungen oder Industriebetrieben, Dünger und Chemikalien aus der Landwirtschaft, versickertes Heizöl oder Treibstoffe sowie Militärgüter können das Grundwasser langfristig verseuchen, daher hat man um Wasserentnahmestellen Wasserschutzgebiete eingerichtet. An vielen Stellen in Deutschland ruhen noch heute Giftstoffe, die teils vor Jahrzehnten legal oder illegal abgelegt wurden, etwa in aufgelassenen und später verfüllten Kiesgruben. Sie stellen als »Altlasten« eine tickende Zeitbombe fürs Grundwasser dar, vielfach hat man auch schon Verschmutzungen entdeckt. Alle nachgewiesenen oder verdächtigen Flächen werden nach und nach in Altlastenkatastern erfasst und soweit möglich saniert.

Heute verbraucht der Mensch viermal mehr Wasser als noch vor 50 Jahren. Und gleichzeitig ist die Wasserverschmutzung massiv angestiegen. Über 2,4 Milliarden Menschen haben keine ausreichenden sanitären Einrichtungen. Dazu kommen Verschmutzungen der Bäche und Flüsse durch Dünger und Pflanzenschutzmittel aus der Landwirtschaft sowie Haushaltsabwässer und giftige Abfälle von Industrie und Bergbau. Selbst in Deutschland, wo schon Milliardensummen in Kläranlagen geflossen sind, belastet die Landwirtschaft immer noch Flüsse und Seen.

Aller Dreck ins Meer

Besorgniserregend ist die Verschmutzung der Meere, wo all der Dreck schließlich landet. In vielen Regionen führen die Flüsse Unmengen von Abfallstoffen ins Meer – sie stellen immerhin 80 Prozent der Meeresverschmutzung. Manche dieser Chemikalien und Schwermetalle wie Blei und Quecksilber sind zwar im Wasser stark verdünnt, reichern sich aber in der Nahrungskette an und sind in großen Fischen gefährlich hoch konzentriert.

Zwar machen die großen Ölkatastrophen Schlagzeilen, aber nicht die ständige schleichende Verseuchung mit Rohöl, Chemikalien und radioaktiven Stoffen. Außerdem werden immer noch hochgiftige Abfälle ins Meer geschüttet (verklappt) oder auf See verbrannt, wobei giftige Gase frei werden.

»Umwelthormone«

Mehr als 50 verschiedene Chemikalien, die der Mensch in die Umwelt bringt, haben eine besonders fatale Eigenschaft: Sie beeinflussen den Hormonhaushalt von Tieren und wirken möglicherweise in ähnlicher Art auch auf den Menschen. So ist der Fang österreichischer Fischer bereits zu zwei Dritteln weiblich. Ähnliche »Verweiblichungen« beobachtet man seit Jahren in zahlreichen Gewässern Europas und der USA, was den Bestand der betroffenen Arten gefährdet. Auch die immer schlechtere Spermienqualität bei Männern führen manche Forscher auf solche in der Fachsprache »endokrinen Disruptoren« genannte Stoffe zurück. Sie müssen dazu in nur sehr geringer Konzentration im Wasser enthalten sein und sind entsprechend schwer nachzuweisen. Außer an den chemisch sehr beständigen Inhaltsstoffen der Antibabypillen hat man hormonartige Wirkungen zum Beispiel an Inhaltsstoffen von Sonnencremes, bestimmten künstlichen Duftstoffen und einigen Weichmachern beobachtet, die Kunststoffen zugesetzt werden.

Ein 2009 veröffentlichter UN-Umweltbericht listet auf, dass in den Meeren auch immer mehr Plastikmüll schwimmt. In Atlantik und Pazifik hat man Regionen gefunden, in denen mehrere Hunderttausend Stücke pro Quadratkilometer treiben! Die Meeresströmungen sorgen dafür, dass sich dieser Müll an bestimmten Stellen anreichert. Das meiste wird von Flüssen ins Meer gespült, etwa ein Fünftel stammt von Seeleuten, die ihren Müll oft kurzerhand – und seit 1998 gesetzeswidrig – über Bord werfen, statt ihn im Hafen zu entsorgen. Unter den 103 Millionen für eine Untersuchung katalogisierten Stücken marinen Mülls stellten neben Tüten und PET-Flaschen Zigarettenfilter und Zigaretten mit 25 Millionen den größten Anteil.

Durch Sonnenlicht und Wellenbewegung zerbricht das im Salzwasser driftende Plastik rasch in immer kleinere Stücke, die zum größten Teil absinken, und wird dadurch für Meerestiere jeder Größe gefährlich. So haben die Forscher bei fast allen Eissturmvögeln in der Nordsee Plastikteile im Magen gefunden. Und Meeresschildkröten verwechseln treibende Plastiktüten oft mit Quallen, ihrer Leibspeise, und verwenden dann daran.

5.2 Luft – die dünne Schutzhülle

Sie ist eigentlich nur ein dünner Schleier, die irdische Lufthülle, aber lebenswichtig für uns und alle Tiere und Pflanzen auf Erden. Das Gasgemisch, das wir Luft nennen, versorgt die Tiere mit dem nötigen Sauerstoff zum Atmen und nimmt das ausgeat-



Abb. 21: Saubere Luft: Leider keine Selbstverständlichkeit.

mete Kohlendioxidgas auf. Die Pflanzen wiederum entziehen der Luft Kohlendioxid und geben Sauerstoff ab – diese Gase werden also immer wieder ergänzt. Aber die Lufthülle leistet noch weitere Dienste. Sie schützt vor extremen Temperaturen, unterhält den Wasserkreislauf und bewahrt das Leben vor gefährlichen Strahlen aus dem All und schädlichen Bestandteilen des Sonnenlichts.

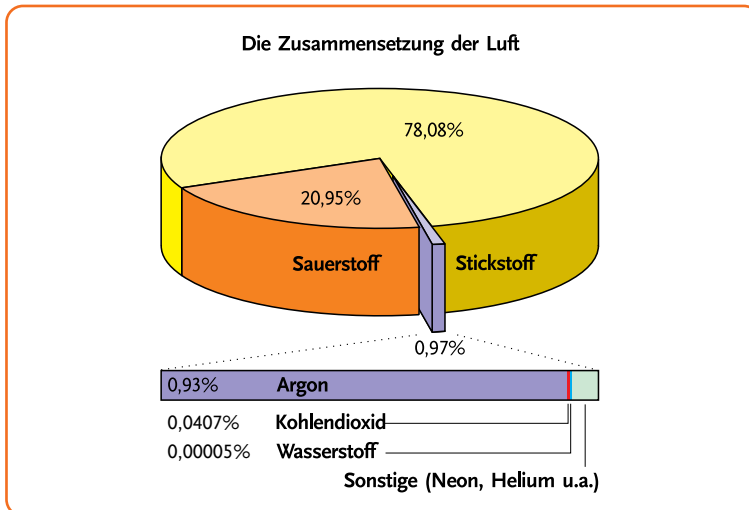


Abb. 22: Nicht nachhaltige Wirtschafts- und Lebensweisen und die damit verbundene Freisetzung von Luftschadstoffen wie Kohlendioxid verändern die Zusammensetzung der Luft und beeinflussen den Klimahaushalt negativ.



Abb. 23: Auch wenn hier keine Schornsteine qualmen, macht das Bild deutlich, dass unsere sehr energieaufwendige Lebensweise zur Belastung der Atmosphäre führt (Bangkok).

Verseuchte Luft

Der wirtschaftende Mensch hinterlässt auch in der Luft deutliche Spuren. Schon in der Steinzeit dürfte das ständige Einatmen des Rauchs vom Lagerfeuer bisweilen Gesundheitsschäden bewirkt haben. Im alten Rom störte der Rauch aus den Öfen der Glasmacher, sodass sie ihre Werkstätten in die Vororte Roms verlegen mussten. Später zeigte sich, dass die großen Rauchmengen von Glas- und Schmelzhütten nicht nur lästig waren, sondern in weitem Umkreis den Wald ruinierten. Die industrielle und häusliche Verbrennung von Kohle erzeugte übel riechende Rauchschwaden, die sich auf die Bronchien legten. Beschwerden über die Schwefelgase aus schwefelhaltiger Kohle gab es schon im England des 13. Jahrhunderts. Geändert hat sich wenig: Noch im 19. Jahrhundert starb dort ein Viertel aller Menschen an Lungenkrankheiten.

Weiträumige ernsthafte Luftverschmutzungen aber gibt es erst seit dem 20. Jahrhundert. Die katastrophale Luftqualität im Umkreis der rauchenden Fabrikschlote nahm man lange Zeit als Preis der Fortschritts in Kauf, zumal sie vor allem die armen Bevölkerungsschichten traf. Der Umstieg auf Öl und Gas nach dem zweiten Welt-

krieg milderte die Probleme etwas. Erst um 1960 gab es erste Proteste, weshalb man durch besonders hohe Schornsteine die Abgase weiträumiger zu verteilen suchte.

Die Luft in den großen Städten ist besonders belastet, und zwar mit einem Gemisch verschiedenartiger Stoffe. Hauptquelle ist der Autoverkehr, wengleich sich bei uns die Einführung des Katalysators und das Verbot bleihaltigen Benzins positiv ausgewirkt haben. Aus den Auspuffrohren strömen Atemgifte wie Stickoxide, krebserregende Rußpartikel und Reste von Kohlenwasserstoffen. Der Effekt schärferer Abgasnormen wurde zum Teil zunichte gemacht durch Zunahme des Autoverkehrs. Besonders schlecht ist die Luft in den Riesenstädten etwa Chinas und vieler ärmerer Länder. Denn hier bremsen die Häuser den Luftaustausch, sodass sich die (in der Regel ungefilterten)



Abb. 24: Längst sind viele Naturkatastrophen vom Menschen verursacht. Die Grafik zeigt die wichtigsten Ursachen.



Abb. 25: Entwaldung führt immer häufiger in den Tropen und Subtropen zu katastrophalen Erdbeben.

Schadstoffe aus Autos und meist auch Kraftwerksschloten in den Straßenschluchten konzentrieren. Dieses Problem wird immer besorgniserregender, denn es leben weltweit mehr Menschen in Städten als auf dem Land.

Dort ist die Luft kaum besser. Eine Studie der US-amerikanischen Gesundheitsbehörde ergab, dass durch den Rauch von Feuern zum Kochen und Heizen pro Jahr fast zwei Millionen Menschen sterben. Rauchinduzierte Krankheiten wie Atemwegsbeschwerden und Lungenentzündungen treffen vor allem die Ärmsten, und darunter wiederum bevorzugt Frauen und Kinder, die sich am häufigsten in der Nähe des Feuers aufhalten. Bis 2020 will eine UN-Stiftung etwa 100 Millionen Haushalte mit speziell konstruierten billigen, effizienten und sauberen Herden ausstatten, die das Problem mindern. Insgesamt würden sogar etwa 800 Millionen solcher Herde gebraucht.

Saurer Regen

Bei der Verbrennung von Kohle, Heizöl oder Benzin entstehen unter anderem gasförmiges Schwefeldioxid und Stickoxide, die mit Wasser starke Säuren (Schwefel- bzw. Salpetersäure) bilden. Durch solche Abgase verändert sich daher der Säuregrad von Regen und noch mehr von Nebel. Der saure Regen hat vielfältige Auswirkungen. Er zersetzt zum Beispiel Baustoffe, etwa Sandstein und Marmor, und greift daher Gebäude, Denkmäler und Metallteile an. Berühmte, unersetzliche Kulturgüter wie die Akropolis, das Taj Mahal in Indien und viele andere mussten daher kostspielig renoviert werden.

Er lässt auch den Säuregrad von Seen in kalkarmen Regionen ansteigen (Kalk würde die Säuren neutralisieren). Schon die Säure selbst ist für die Lebewesen gefährlich. Zudem aber mobilisiert sie normalerweise wasserunlösliche Giftstoffe aus dem

pH-Wert

Wie stark sauer eine wässrige Lösung ist, gibt man mit ihrem pH-Wert an. Je kleiner dieser Wert, desto saurer das Wasser. Reines Wasser hat pH 7, Regenwasser durch darin gelöste natürliche Kohlensäure etwa pH 5,5, Essig etwa pH 3, Magensäure etwa pH 1, starke Säuren pH-Werte kleiner als 0. Bei Niederschlag spricht man bei Werten unter etwa pH 5 von saurem Regen. Möglich sind auch pH-Werte über pH 7. Sie bezeichnen den basischen Bereich und werden durch Laugen bzw. Basen (etwa Natronlauge oder Ammoniak) hervorgerufen. Messen kann man den Säuregrad mithilfe von Indikatorstreifen, die sich je nach pH-Wert verfärben, oder genauer mit elektronischen Messgeräten.

Boden, die ihrerseits die Lebewesen beeinträchtigen.

Zu den sichtbarsten Wirkungen des sauren Regens aber zählt die Schädigung von Pflanzen, insbesondere Bäumen. Die in Deutschland etwa ab 1980 immer deutlicher werdenden Waldschäden gingen vor allem auf den Säureeintrag zurück. Er mobilisierte auch im Waldboden Schadstoffe, die die Feinwurzeln der Bäume zerstörten und dadurch etwa zu Kronenverlichtungen und bisweilen sogar zum Absterben von Bäumen führten. Solche Schädigungen waren aus dem Umkreis von Hüttenwerken seit Langem bekannt, traten nun aber weiträumiger auf. Besonders intensiv waren sie im Umkreis von Industriegebieten in sozialistischen Nationen oder Entwicklungsländern, wo die Gase völlig ungereinigt aus den Schloten quollen.

Allerdings war der saure Regen nicht die einzige Ursache dieses zeitweise als Waldsterben oder »neuartige Waldschäden« bezeichneten Vorgangs, auch andere Schadstoffe sowie Klima- und forstwirtschaftliche Faktoren trugen dazu bei. Rauchgasentschwefelungsanlagen und Autokatalysatoren sowie die Verwendung schwefelarmer Treibstoffe haben die Schwefelbelastung inzwischen massiv reduziert und das Waldsterben gestoppt. Andere Faktoren sind allerdings immer noch wirksam, und daher ist auch heute ein Großteil der Bäume von Schäden betroffen.

Stickstoffverbindungen

Hier muss man drei chemisch sehr unterschiedliche Stoffe unterscheiden. Autos stoßen große Mengen Stickoxide aus (abgekürzt NO_x), auch wenn der Anteil seit Einführung der Katalysatoren zurückgegangen ist. Sie schädigen bei Tieren und Menschen die Atemwege und erhöhen auch deren Anfälligkeit gegen Infektionen. Zudem greifen sie die Oberflächen von Blättern und Nadeln an. Mit Wasser bilden sie Säuren und tragen so zum sauren Regen bei. Außerdem sind sie an der Entstehung von bodennahem Ozon und Feinstaub beteiligt.

Aus der Landwirtschaft, und hier besonders aus der Massentierhaltung, stammt die Stickstoffverbindung Ammoniak. Er ist ein stechend riechendes Gas, das vor

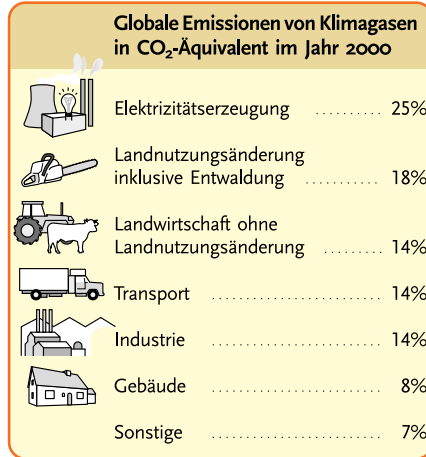


Abb. 26: Die Grafik zeigt, wo die klimaschädlichen Emissionen herkommen.

Wie funktioniert ein Katalysator?

Allgemein bezeichnet man als Katalysator einen Stoff, der bestimmte chemische Reaktionen beschleunigt, ohne sich dabei selbst zu verändern. Ein Katalysator im Autoauspuff zerstört bestimmte giftige Stoffe in den Abgasen. Das sind vor allem unverbrannte Kohlenwasserstoffe aus dem Kraftstoff, hochgiftiges Kohlenmonoxid und Stickoxide (NO_x). Der übliche Drei-Wege-Katalysatorauspuff für Ottomotoren lässt Luftsauerstoff und die Stickoxide mit CO und Kohlenwasserstoffen reagieren. Dabei verbrennen Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe zu ungiftigem Kohlendioxid und Wasser. Der dafür nötige Sauerstoff kommt zum Teil aus den Stickoxiden, die sich dabei in harmlosen Stickstoff umwandeln. Letztlich strömen also vor allem Stickstoff, Kohlendioxid und Wasserdampf aus dem Auspuffrohr. Bei Dieselmotoren lassen sich mit solchen Katalysator-Auspuffen die Stickoxide nicht entfernen. Hier arbeitet man an Typen, die die Stickoxide speichern können. Elektronisch geregelt, schickt der Motor dann einen Schwaden Kohlenwasserstoffe in den Auspuff, mit denen sie sich umsetzen. Weil Dieselmotoren außerdem große Mengen Ruß bilden, dem krebserzeugende Wirkung zugeschrieben wird, werden sie zunehmend mit Partikelfiltern ausgerüstet. Sie binden die Rußteilchen an ihren ausgedehnten Wandoberflächen. Von Zeit zu Zeit leitet eine Elektronik dann die Filterregeneration ein: Der Ruß wird verbrannt. Auch hierbei nutzt man Katalysatoren, um die Verbrennungstemperatur niedrig zu halten.

allem vom Kot und Harn der Tiere freigesetzt wird. Eine Gesundheitsgefahr stellt der Ammoniak nur in höherer Konzentration dar, seine Schädwirkung auf die Umwelt beruht auf einer anderen Eigenschaft: Er wirkt als Düngemittel. Mit der ausgebrachten Gülle von Rindern und Schweinen verweht das Gas und geht mit dem Regen weiträumig auf die Landschaft nieder. Es regnet mehr Stickstoffdünger aus der Luft, als vor Jahrzehnten die Bauern aktiv ausbrachten. Das schädigt massiv solche Biotope, die ihre Artenvielfalt gerade dem Nährstoffmangel verdanken, etwa Teiche, naturnahe Wiesen, Trockenrasen, Heiden und Hochmoore. Zudem wandelt sich Ammoniak mit der Zeit in Stickoxide um.

Ein dritter Schadstoff entströmt sowohl den mit Stickstoff gedüngten Feldern als auch den Autoauspuffen, und zwar gerade denen mit Katalysator: Distickstoffoxid, auch Lachgas genannt. Für die menschliche Gesundheit sind die üblichen Konzentrationen in der Luft zwar harmlos – es wird in der Medizin sogar als Betäubungsmittel verwendet. Aber Lachgas ist ein extrem klimaschädliches Gas.



Abb. 27: Nicht nur der Autoverkehr und die Industrie führen zur Freisetzung von Luftschadstoffen, sondern auch die intensive Landwirtschaft.

Bodennahes Ozon

Im Sonnenlicht und bei Sommertemperaturen laufen in den bodennahen Luftschichten diverse chemische Reaktionen ab, die Schadstoffe umwandeln. Besonders aus Stickoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) – also etwa unverbrannten Kraftstoffresten oder Ausdünstungen von Tankstellen, Kunststoffteilen, Sprays und zum Teil Pflanzen – bilden sich dabei Ozon und weitere Schadstoffe, die man unter dem Sammelnamen Photooxidantien oder Sommersmog zusammenfasst. Gemeinsam ist ihnen eine intensive Schädigung auf lebendes Gewebe, besonders die Atmungsorgane. Ozon etwa ist ein chemisch extrem reaktionsfähiges Gas. Es dringt tief in die Lunge ein und kann in den Zellen zu Entzündungen und sogar Schädigungen der Erbsubstanz führen. Ab Konzentrationen von etwa 200 Mikrogramm (Millionstel Gramm) pro Kubikmeter Luft treten auch Augen- und Schleimhautreizungen, Husten, Kopfschmerzen, Müdigkeit und Atemnot auf. Nicht alle Menschen reagieren gleich empfindlich; Kinder, Lungenkranke und ältere Menschen sind besonders gefährdet. Daher wird die Bevölkerung ab etwa 180 Mikrogramm pro Kubikmeter gewarnt. Besonders groß ist die Ozongefahr für Raucher.

Weil die Ausgangsstoffe in Städten vor allem aus dem Verkehr stammen, werden bei zu hohen Ozonkonzentrationen Fahrverbote ausgesprochen. Solche kurzfristigen

Sauerstoff und Ozon

Das chemische Element Sauerstoff bildet etwa ein Fünftel unserer Lufthülle – es ist dort mit vier Fünfteln des unbrennbaren Gases Stickstoff verdünnt. Allerdings schwirren die Sauerstoff-Atome nicht einzeln herum. Vielmehr haben sich immer zwei zu einem Sauerstoffmolekül verbunden. Energiereiche Ultraviolettstrahlung aber kann diese Paare aufbrechen, und die Einzelatome schließen sich dann zum Teil zu dritt zusammen, und diesen dreiatomigen Sauerstoff nennt man Ozon. Das geschieht in der Ozonschicht oben in unserer Atmosphäre. Aber auch durch Einwirkung elektrischer Entladungen (etwa in älteren Fotokopierern) oder in Bodennähe durch chemische Reaktionen mit Stickoxiden entsteht dieses Gas.

Die angeblich so gesunde und ozonreiche Waldluft hat mit dem wirklichen Ozon nichts zu tun. Das ist ein stechend unangenehm riechendes Gas – und außerdem sehr giftig. Denn das Ozonmolekül zerfällt leicht wieder, und die dabei frei werdenden einzelnen Sauerstoffatome sind extrem angriffslustig: Sie zerstören lebendes Gewebe und überhaupt organische Stoffe. Zunutze macht man sich das bei der Schwimmbad-Entkeimung und zum Bleichen von Papier: Hier ersetzt das Ozon vorteilhaft das giftige Chlor.

Maßnahmen erwiesen sich aber als wenig wirksam. Denn gerade in schmutziger Stadtluft bauen sich die Schadstoffe auch rasch wieder ab. Bei Wind aber werden die Ausgangsstoffe oft weit über Land geblasen und bilden unterwegs Ozon, das in Reinluftgebieten länger überdauert. Weil Ozon schon in geringen Konzentrationen auch Pflanzen angreift, können also auch weit entfernt von den Schadstoffquellen Schädigungen eintreten.

Die Spitzenbelastungen mit Ozon nehmen in Deutschland seit Jahren ab, die mittlere Konzentration aber steigt stetig an. Daher bemüht man sich, den allgemeinen Schadstoffausstoß zu senken, bei Autos etwa mit besseren Katalysatoren, bei Tankstellen mit Saugrüsseln.

Ozonloch

In etwa 15 bis 50 Kilometern Höhe existiert in der irdischen Lufthülle eine lebenswichtige Schutzschicht, die Ozonschicht. Hier bilden energiereiche ultraviolette Sonnenstrahlen (UV-Strahlen) aus dem normalen Luftsauerstoff das Gas Ozon. Diese Schicht verschluckt die gefährlichen UV-Strahlen, die sonst bis zur Erdoberfläche dringen würden. Fast zufällig entdeckten zwei Chemiker 1974, dass scheinbar harmlose, vom Menschen erzeugte Gase eine globale Gefahr für zahlreiche Lebewesen darstellten, weil sie diese Schutzschicht zerstören. Es handelte sich um die Fluor-

chlorkohlenwasserstoffe (FCKW). Diese Chlor enthaltenden Stoffe wurden ab etwa 1930 als Sprühdosentreibgase, in Kälteanlagen, als Treibmittel für Schaumstoffe und zu vielen anderen Zwecken eingesetzt, denn sie sind unbrennbar, ungiftig und galten als harmlos.

Doch einmal freigesetzt steigen die FCKW in die Ozonschicht empor. Dort löst die UV-Strahlung komplizierte chemische Reaktionen aus, durch die das Ozon abgebaut wird. Ein einziges FCKW-Molekül kann dabei über 100 000 Ozonmoleküle zersetzen. In Kälte und Finsternis der Polarnacht sammeln sich manche dieser Reaktionspartner in hohen Konzentrationen an und bilden sogar dünne Wolken. Liefert die Sonne danach wieder UV-Strahlung, wird sehr rasch sehr viel Ozon zersetzt – die Konzentration in der Ozonschicht sinkt deutlich ab, es bildet sich ein Ozonloch. Besonders niedrig ist die Ozonkonzentration also im Sommer über dem Nordpolargebiet und angrenzenden Regionen, in unserem Winter über der Antarktis und den südlichen Gebieten Australiens, Afrikas und Südamerikas.

Eine Schädigung der Ozonschicht hätte für irdische Lebewesen katastrophale Folgen, denn die UV-Strahlen können Sonnenbrände und Hautkrebs erzeugen, schädigen die Augen und schwächen das Immunsystem. Daher wurde 1990 weltweit die FCKW-Produktion verboten. Aber erst in einigen Jahrzehnten wird sich die Ozonschicht wieder normalisiert haben.

Schwermetalle

Einige Metallverbindungen, etwa von Eisen, Chrom, Kupfer und Zink, sind als Spurenelemente, also in winzigen Mengen, für den menschlichen Körper lebensnotwendig. In größeren Mengen können sie auch schädlich wirken. Aber besonders gilt dies für die vergleichsweise häufig genutzten Schwermetalle Blei, Cadmium und Quecksilber.

Blei wurde jahrzehntelang von Blei verarbeitenden Betrieben als Staub in die Luft gepustet und verseuchte Anwohner und Umwelt. Seltene Bleiquellen sind bleihaltige Glasuren auf Essgeschirr, aus denen saure Speisen das Element lösen, oder auch Bleirohre zur Wasserversorgung, in denen saueres Trinkwasser einen ähnlichen Effekt hat. Der größte weiträumige Bleiverschmutzer aber war jahrelang Kraffahrzeugbenzin. Ihm wurde ab etwa 1930 die Bleiverbindung Tetraethylblei als Antiklopfmittel zugesetzt. Der aus den Auspuffen strömende Bleistaub reicherte sich in Boden, Pflanzen, Nahrung und vor allem in Tieren und Menschen an. Blei wirkt auch in kleinen Mengen als ein gefährliches Nervengift, nicht zuletzt für Kinder vor und nach der Geburt. Aufgrund alarmierender Meldungen über hohe Bleiwerte in Blut und Muttermilch wurde verbleites Benzin ab etwa 1980 in der EU eingeschränkt; inzwischen ist es, wie auch viele andere Bleianwendungen, verboten. Seither ging die Blei-



Abb. 28: Neben problematischen Schwermetallen waren Greifvögel lange Zeit durch den hohen Anteil an Schadstoffen wie DDT in den Eiern vom Aussterben bedroht.

belastung deutlich zurück. Im Boden und in Gewässern, soweit hier gejagt wird, nimmt sie allerdings immer noch kräftig zu. Denn Deutschlands Jäger verschießen jährlich viele Tonnen Bleischrot. Ein Teil davon gelangt in Tiere – etwa Greifvögel – und vergiftet sie. Wildtierforscher schätzen, dass etwa 100 000 Vögel pro Jahr an einer sekundärer Bleivergiftung eingehen. Nur langsam setzt ein Umdenken ein. In Ländern wie Finnland und den Niederlanden ist bleihaltige Munition verbo-

ten, auch in Deutschland wird Bleischrot zunehmend durch das härtere Weicheisenschrot ersetzt – den allerdings nicht alle Gewehre aushalten.

Cadmium diente lange Zeit vor allem zum Rostschutz, in Akkus und Farbstoffen. Außerdem fällt es bei der Blei-, Zink- und Kupfergewinnung an und ist in Phosphatdüngern enthalten – und in recht großen Mengen im Tabakrauch. Es kommt also über Luft und Nahrung in den Körper, schädigt unter anderem Nieren und Knochen und kann Krebs erzeugen. Seit man Cadmium möglichst durch andere Stoffe ersetzt, geht auch hier die Belastung zurück, bei Rauchern allerdings weniger.

Quecksilber schädigt Nieren und Nerven. Das flüchtige Metall verdunstet leicht, und der Dampf ist sehr giftig, ebenso wie bestimmte chemische Verbindungen des Metalls. Sie werden in relativ großen Mengen bei der Kohleverbrennung ausgestoßen, außerdem setzen einige Industriebetriebe und die Goldgewinnung das Metall frei. Aus der Luft und mit Abwasser gelangt der Stoff auch in Böden, Seen und Meer, reichert sich in der Nahrungskette an und findet sich dann in der Nahrung wieder. Quecksilberhaltige Thermometer dürfen seit 2009 in der EU nicht mehr verkauft werden. Die weitaus größte Menge allerdings stoßen Kohlekraftwerke aus: Sie liefern etwa ein Drittel der weltweit jährlich 6000 Tonnen Quecksilber, die in die Umwelt gelangen.

Insgesamt hat der Einsatz von Staubfiltern in Kraftwerken und Industrie, die rückläufige Verwendung von Kohle und das Verbot von verbleitem Benzin hierzulande zu verminderter Schwermetallbelastung geführt. In vielen Schwellen- und Entwicklungsländern mit ungenügenden Umweltvorschriften sind viele Menschen immer noch diesen Giften ausgesetzt. Eine Quelle dieser Gifte ist der vielfach illegal aus Industrieländern exportierte Elektroschrott (nicht zuletzt Energiesparlampen und Leuchtrohren), der zum Teil in afrikanischen, chinesischen und indischen Dörfern nicht sachgerecht recycelt wird, was große Giftmengen freigesetzt.