

Zwischenruf

Umweltforschung für
die politische Praxis



Gewässerschutz



Bodenschutz



Verbraucherschutz



Feinstaub

Impressum

Herausgeber:
Leibniz-Gemeinschaft
Geschäftsstelle
Postfach 12 01 69
53043 Bonn

Tel. 0228/308 15-0
Fax 0228/308 15-255
E-Mail info@leibniz-gemeinschaft.de
Internet www.leibniz-gemeinschaft.de

Redaktion:
Dr. Frank Stäudner (verantw.)
Dr. Claus Dalchow

Satz und Druck:
Richard Thierbach
Buch- und Offset-Druckerei GmbH
45478 Mülheim an der Ruhr

Gestaltung: iserundschmidt

Bildrechte bei den Instituten,
Foto zum Thema Feinstaub:
Titel + S. 36, © Andreas Köhring

Alle Begriffe und Funktionsbezeichnungen
gelten für Frauen und Männer in gleicher Weise.

Abdruck mit Quellenangabe gestattet.

Juli 2005

www.leibniz-gemeinschaft.de

Die Leibniz-Gemeinschaft

Zur Leibniz-Gemeinschaft gehören 84 außeruniversitäre Forschungsinstitute und Serviceeinrichtungen für die Forschung. Die Ausrichtung der Leibniz-Institute reicht von den Natur-, Ingenieur- und Umweltwissenschaften über die Wirtschafts-, Sozial- und Raumwissenschaften bis hin zu den Geisteswissenschaften. Leibniz-Institute arbeiten interdisziplinär und verbinden Grundlagenforschung mit Anwendungsnähe. Sie pflegen intensive Kooperationen mit Hochschulen, Industrie und anderen Partnern im In- und Ausland. Das externe Begutachtungsverfahren der Leibniz-Gemeinschaft setzt Maßstäbe. Jedes Leibniz-Institut hat eine Dienstleistungs- bzw. Forschungsaufgabe von gesamtstaatlicher Bedeutung. Bund und Länder fördern die Institute der Leibniz-Gemeinschaft daher gemeinsam. Die Leibniz-Institute hatten 2004 ein Budget von 1,1 Milliarden Euro und beschäftigten rund 13.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, darunter 5200 Wissenschaftler.

The Leibniz Association

Leibniz Institutes perform strategic research and offer scientific service of national significance. Leibniz Institutes foster close cooperations with universities, industry, and other research institutes, both in Germany and abroad. Leibniz researchers keep to the highest standards of excellence. They strive for scientific solutions for major social challenges. The Leibniz Association is a network of 84 scientifically, legally and economically independent research institutes and scientific service facilities. The tasks undertaken range from humanities, regional research, and economics to the social and natural sciences, life sciences, engineering, environmental research, and are characterized by an interdisciplinary approach. Leibniz Institutes had a total budget of 1.1 billion Euro in 2004, and 13 000 employees. The Leibniz Association has developed a comprehensive system of quality management. In this unique peer review process, independent experts assess every institute at regular intervals.

Vorwort

Der zweite „Zwischenruf“ setzt die Initiative umweltwissenschaftlich ausgerichteter Institute der Leibniz-Gemeinschaft fort, neue Forschungsergebnisse in den politischen Willensbildungsprozess einzuspeisen.

Vier Beiträge aus vier Leibniz-Instituten der Sektion Umweltwissenschaften be-
fassen sich mit den Themen

- Integrierter Gewässerschutz
- Vorsorgender Bodenschutz
- Verbraucherschutz durch moderne Landwirtschaft
- Feinstaub in Deutschland

Gewässerschutz: Rainer Koschel, Horst Behrendt und Michael Hupfer vom Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei warnen davor, sich in Fragen des Gewässerschutzes allein auf die Verringerung von Schadstoffemissionen zu konzentrieren. Stattdessen sollte die gezielte Optimierung der Struktur ökologischer Systeme Bestandteil eines modernen Gewässerschutzes sein.

Bodenschutz: Monika Freilinghaus und Michael Sommer vom Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung fordern Bund und Länder auf, ihre Aufmerksamkeit stärker als bisher auf einen vorsorgenden Bodenschutz zu richten und die nachhaltige Nutzung der begrenzten Ressource Boden zu gewährleisten. Eine wesentliche Reduzierung des Flächenverbrauchs könnte mit dem Instrument der sogenannten handelbaren Flächenausweisungsrechte erzielt werden. Initiativen wie die Kampagne Boden des Jahres und die Einrichtung von Bodenlehrpfaden sollen in der Bevölkerung die Akzeptanz für einen bewussten Umgang mit der kostbaren Ressource Boden schaffen.

Verbraucherschutz: Martin Geyer und Helene Foltan vom Leibniz-Institut für Agrartechnik fordern gezielte Aufklärungskampagnen, die beim Verbraucher das Bewusstsein für die landwirtschaftliche Herkunft der Lebensmittel stärken und das Image der Landwirte als Umwelt- und Verbraucherschützer festigen. Gütesiegel und Warentestergebnisse sollen auf dem Markt für landwirtschaftliche Erzeugnisse für mehr Markttransparenz sorgen. Zudem solle der Gedanke des Verbraucherschutzes in den Ausbildungs- und Qualifizierungswegen der Landwirtschaft verankert werden. Beim Pflanzenschutz sei eine internationale Harmonisierung der Zulassungsbedingungen und der Behandlungsstrategien dringend erforderlich.

Feinstaub: Die Autoren um Alfred Wiedensohler vom Leibniz-Institut für Troposphärenforschung weisen drauf hin, dass Feinstaub mit Teilchengrößen unter einem Mikrometer für den Menschen sehr wahrscheinlich gefährlicher ist als größere Partikel. Sie schlagen daher vor, die seit kurzem wirksame EU-Richtlinie bei ihrer Novellierung auf Partikel unter 1 µm einzugrenzen. Außerdem solle ein zweiter Massengrenzwert für Ruß eingeführt werden. Ruß bilde nämlich im urbanen Feinstaub die größte Gesundheitsgefahr. Folgerichtig empfehlen die Autoren die Stilllegung der stärksten Rußemitter unter den LKWs und Bussen und die Minimierung von Öl- und Kohleverbrennung beim Hausbrand.

Die vier Beiträge stellen in kompakter Form den gegenwärtigen wissenschaftlichen Kenntnisstand dar. Sie enden in guter Zwischenruf-Manier mit Handlungsempfehlungen an die Politik. Die genannten Experten sind gern für die Leserinnen und Leser da, die mehr zum Thema wissen möchten.

04



Integrierter Gewässerschutz für Binnengewässer: Maßnahmen zum nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser

- 05 Wasser ist Leben
- 07 Schadstoffbelastungen von Binnengewässern
- 09 Eutrophierung
- 11 Strategien zur Steuerung von Gewässerökosystemen
- 13 Handlungs- und Forschungsbedarf
- 14 Empfehlungen für die Politik

16



Vorsorgender Bodenschutz – die Voraussetzung für eine nachhaltige Bodennutzung

- 17 Böden – die dünne Haut der Erde
- 18 Warum ist der sorglose Umgang mit der knappen Ressource Boden international so besorgniserregend?
- 20 Die Hauptursache für sorglosen Umgang mit Boden ist mangelndes Bodenbewusstsein!
- 22 Was hemmt gegenwärtig einen wirksamen vorsorgenden Bodenschutz?
- 23 Wie können Forschungsergebnisse in der Praxis schnell und wirksam umgesetzt werden?
- 24 Empfehlungen für die Politik

26



Verbraucherschutz durch moderne Landwirtschaft

- 27 Lebensmittel: gut, preiswert – und sicher? Die Quadratur des Kreises
- 28 Was kann die moderne Landwirtschaft zur Sicherstellung von Produktqualität und Produktsicherheit beitragen?
- 31 Wie lassen sich Produktqualität, Produktsicherheit und umweltgerechtes Handeln an die Verbraucher vermitteln?
- 32 Vor welchen Herausforderungen steht die agrartechnische Forschung?
- 34 Empfehlungen und Handlungsoptionen für die Politik

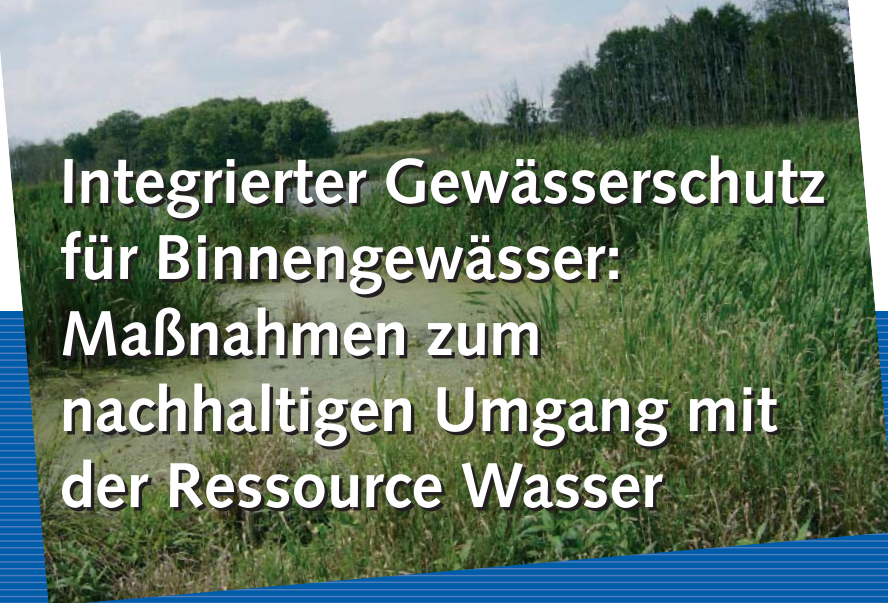
36



Feinstaub in Deutschland

- 37 Was sind Quellen von Aerosolpartikeln, in welchen Größenklassen sind sie zu finden und wie ist ihre chemische Zusammensetzung?
- 39 Trend der Feinstaubbelastung und Ferntransport verschmutzter Luftmassen
- 42 Konzentrationen und chemische Zusammensetzung im urbanen Bereich
- 44 Schlussfolgerungen und langfristige Maßnahmen

Inhalt



Integrierter Gewässerschutz für Binnengewässer: Maßnahmen zum nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser

Rainer Koschel, Horst Behrendt, Michael Hupfer
Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)

Binnengewässer sind empfindliche Indikatoren für Störungen der natürlichen Stoffkreisläufe, weil sie sehr eng mit der terrestrischen Umgebung, dem Grundwasser und der Atmosphäre verbunden sind. Zu den weltweit häufigsten Gewässerproblemen, die die Nutzung der Ressource Wasser erheblich beeinträchtigen, gehören die Eutrophierung, die Versauerung, die Kontamination mit Schadstoffen und die Versalzung. Eine Beseitigung von Gewässerschädigungen und ein effektiver Gewässerschutz erfordern integrative Ansätze, zu denen verschiedene Fachdisziplinen einen Beitrag leisten müssen. Da die Gewässer und die Einzugsgebiete wegen ihrer vielfältigen Struktur ganz unterschiedlich auf Stressfaktoren reagieren und Belastungen kompensieren können, scheint eine alleinige Orientierung auf die Reduzierung von Emissionen auch mit Blick auf die begrenzten finanziellen Mittel für den Gewässerschutz nicht sinnvoll. Stattdessen sollte die gezielte Optimierung der Struktur ökologischer Systeme Bestandteil eines modernen Gewässerschutzes sein. Dazu gehören im Einzugsgebiet eine ressourcenschonende Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen und die Revitalisierung von Pufferökosystemen, die als Stoffsenken in der Landschaft wirken. Im Gewässer selbst können durch ökotechnische Verfahren erwünschte Funktionen besonders gefördert werden. Für die Durchführung solcher Optimierungsstrategien fehlen teilweise aber noch die naturwissenschaftlichen Grundlagen und geeignete Vorhersageinstrumente. Sehr große Defizite gibt es bei der ökonomischen Bewertung ökologischer Gewässerfunktionen und bei der Erforschung sozio-ökonomischer Konsequenzen, die ein langfristig angelegter Gewässerschutz erfordert.

Wasser ist Leben

Unsere Binnengewässer sind eine essentielle und zugleich auch knappe und damit äußerst schützenswerte Ressource. Binnengewässer sind nicht nur ein wichtiges „Wirtschaftsgut“ im Sinne vielfältiger Funktionen im Landschaftswasserhaushalt, sondern auch „Lebensmittel“ im Sinne von Trinkwasser. Sie stellen auch „Puffer- und Service-systeme“ im Sinne hoher Selbstreinigungseffekte dar und müssen als „Erbgut“ im Sinne biologischer Vielfalt angesehen werden. All diese Aspekte bestimmen die „Leitbilder“ für einen integrierten Gewässerschutz und den nachhaltigen Umgang mit der Ressource „Wasser“.

Weltweit ist zu erkennen, dass Gewässer, Boden und Atmosphäre durch weiträumige Störungen der natürlichen Stoffkreisläufe in Folge verschiedener Nutzungen sowie einseitiger Bewirtschaftung übermäßig belastet und zunehmend destabilisiert werden. Die vielfältigen Serviceleistungen unserer Ökosysteme im Stoffhaushalt der Natur werden stark geschädigt oder kommen ganz zum Erliegen. In der Zeitschrift „Nature“ erschien 1997 ein Artikel „The value of the world's ecosystem services and natural capital“, in dem die Autoren den Versuch unternahmen, diese Gratisfunktionen der Ökosysteme zu bewerten. Für Seen und Flüsse errechneten sie jährliche „Serviceleistungen“ im Wert von ca. 850 000 US \$/km² Gewässerfläche. Es wurde vor allem die Bedeutung der Gewässer für die wasserwirtschaftliche Nutzung, die Selbstreinigung und die Erholung berücksichtigt. Nach diesen

Schätzungen erbringen allein die Stand- und Fließgewässer „kommunale Leistungen“ von ca. 1,7 Billionen US \$/Jahr. Das entspricht etwa einem Zehntel des weltweiten Bruttosozialproduktes. Angesichts dieser Zahlen wird deutlich, was uns die Erhaltung dieser „Gratisleistungen“ der Natur wert sein sollte und wie ökonomisch sinnvoll es ist, einer Degradierung der Ökosysteme frühzeitig entgegenzuwirken.

Von den rund 4,1 Milliarden €, die im Jahr 2001 in Deutschland für den Gewässerschutz investiert wurden, flossen rund 65 % in die Infrastruktur zur Abwasserbehandlung und rund 20 % in die Infrastruktur zur Trinkwassergewinnung. Ein integrierter Gewässerschutz, der von der Landnutzung bis hin zur Optimierung der Gewässerstruktur reicht und der die räumliche und zeitliche Fernwirkungen verschiedener Belastungsfaktoren sowie das verzögerte Antwortverhalten der Ökosysteme berücksichtigt, wurde unzureichend oder gar nicht gefördert.

Gewässer werden nicht nur durch punktuelle Einträge sondern ebenfalls durch diffuse Einträge aus der Landwirtschaft oder aus der Atmosphäre, durch massive Schädigungen der Gewässerstruktur (Verbau und Übernutzungen) oder durch großflächige Wasserspiegelabsenkungen und Mineralstoffverluste in den Einzugsgebieten belastet. Eine Verbesserung der Abwasserreinigung allein bringt deshalb nicht immer den gewünschten Erfolg. Durch lange Aufenthaltszeiten insbesondere im Grundwasser vergehen oft Jahrzehnte, bis reduzierte Stoffabga-

ben in die Umwelt (Emissionen) zu verminderten Gewässereinträgen aus diffusen Quellen führen. Die alleinige Anwendung von emissionsorientierten Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität stößt auch an ihre Grenzen, weil gewässerinterne Mechanismen einer raschen Verbesserung der Güte entgegenwirken können. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass eine hohe Effizienz im Gewässerschutz nur

durch komplexe und integrierte Eingriffe zu erreichen ist (Abb. 1). Die Maßnahmen müssen auf eine sinnvolle Balance zwischen Verbesserung und Stabilisierung der Gewässerökosysteme durch Reduktion punktueller bzw. diffuser Stoffeinträge (Sanierung) und der strukturellen Optimierung der ökologischen Systeme zielen (Restaurierung und Ökotechnologie im Gewässer und Einzugsgebiet).

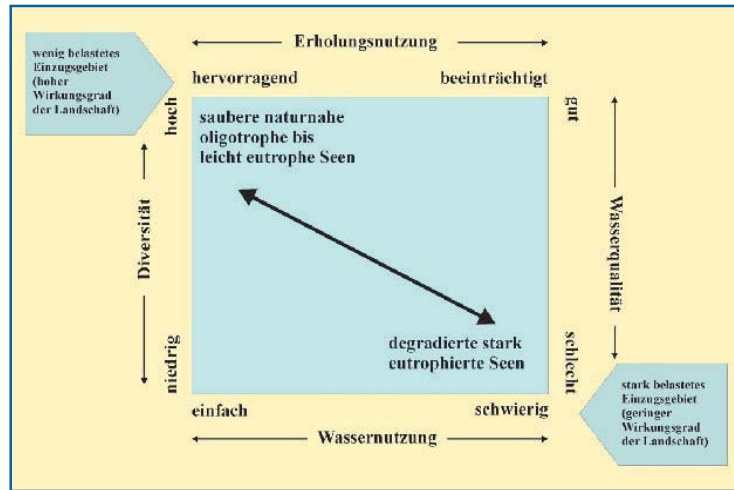


Abb. 1: Einfluss des Umlandes auf Wasserqualität und Nutzungsfunktionen eines Gewässers.

Schadstoffbelastungen von Binnengewässern

Gewässerökosysteme sind zahlreichen natürlichen und anthropogen bedingten Stressfaktoren physikalischer, chemischer und biologischer Art ausgesetzt. Gravierende Gewässerprobleme entstehen durch die Belastung mit anorganischen und organischen Schadstoffen. So gelangen beispielsweise Schwermetalle über die Erzverhüttung, die Metallindustrie oder den Straßenverkehr in urbane Ballungsräume in unsere Gewässer. Außerdem führen Emissionen schwefel- und stickstoffhaltiger Gase zur Korrosion von freien Metalloberflächen. Verschärfte gesetzliche Anforderungen und der seit 1990 eingetretene Rückgang industrieller Aktivitäten in den neuen Bundesländern führten dazu, dass industrielle Direkteinleitungen für die Schwermetallbelastung nur noch eine untergeordnete Rolle in Deutschland spielen. Nur unwesentlich verringert haben sich dagegen die Einträge von Metallen von versiegelten urbanen Flächen (Straßen, Dächer). Diese Einträge verursachen zur Zeit ca. ein Drittel der gesamten Immissionen in die Gewässer. Zu den organischen Schadstoffen werden z. B. Pestizide, organische Tenside, Arzneimittel und Mineralöle gezählt. Metalle, aber auch organische Verbindungen wie polychlorierte Biphenyle (PCB) reichern sich in Sedimenten und in Nahrungsketten an und können dabei toxische Konzentrationen aufbauen. Besonders in Ballungsräumen werden hormonaktive Substanzen (endokrine Disruptoren) in die

Gewässer geleitet, die Fortpflanzungs- und Entwicklungsvorgänge von Wirbeltieren beeinflussen. Synthetische hormonaktive Stoffe sind in Pharmazeutika und Industriechemikalien enthalten. Durch die Verwendung von Mitteln zur Empfängnisverhütung und Hormonbehandlungen gelangen zum Beispiel synthetische Östrogene über das Abwasser und fast ungehindert durch die Kläranlagen in die Umwelt. Ein anderes Beispiel sind die Emissionen schwefel- und stickstoffhaltiger Gase. Sie führen zu saurem Regen, so dass eine Versauerung von Gewässern auch in größerer Entfernung vom Emissionsort eintreten kann. Die betroffenen Gewässer sind oft sehr klar und weisen damit scheinbar eine gute Qualität auf. Die Abnahme des pH-Wertes verursacht aber extreme Veränderungen von Lebensgemeinschaften („Biozönosen“). Fische und andere höhere Organismen können nicht überleben oder sich nicht fortpflanzen. Eine weitere Folge ist die gesteigerte Freisetzung giftiger Metallionen (vor allem Aluminium, Kupfer, Cadmium, Zink und Blei) aus Böden und Sedimenten. In Deutschland stellt die Versauerung durch sauren Regen nur in kalkarmen Regionen mit geringer Pufferkapazität ein Problem dar, wie z. B. im Bayerischen Wald, im Erzgebirge oder im Schwarzwald. Eine extreme Gewässerversauerung kann auch in Bergbaufolgelandschaften auftreten. Allein in Deutschland wird es mittelfristig ca. 500 Seen geben, deren Entstehung auf den Braunkohlebergbau

zurückgeht. Die Mehrzahl dieser Seen sind in ihrer Entstehungsphase stark versauert, da bei der Kohleförderung

schwefelhaltige Mineralien (Markasit, Pyrit) oxidiert wurden, wodurch Säure freigesetzt wird (Abb. 2).



Abb. 2: Gewässerprobleme mit Nutzungseinschränkungen.
 Links: Bildung toxischer Cyanobakterien (Blualgen) in Folge zu hoher Nährstoffbelastung im Leipziger Auensee. (Foto J. Lewandowski)
 Rechts: Extreme Versauerung mit Ausfällungen von braunem Eisenhydroxid in einem gefluteten Tagebau der Lausitz. (Foto A. Fyson)

Eutrophierung

Das häufigste Gewässerproblem ist die Eutrophierung. Man versteht darunter eine zunehmende Intensität der Primärproduktion (Trophie), die durch eine gesteigerte Verfügbarkeit und Ausnutzung von Nährstoffen bewirkt wird. Durch häusliche Abwässer und durch Intensivierung der Landwirtschaft hat sich das Ausmaß natürlich ablaufender Eutrophierungsvorgänge seit Mitte des letzten Jahrhunderts extrem verstärkt. Wahrnehmbare Anzeichen der Eutrophierung sind Trübung, Verkrautungen, Massenentwicklungen toxischer Cyanobakterien (Blualgen), Verlust der Artenvielfalt, Sauerstoffschwund, Schwefelwasserstoffbildung, Fischsterben und Geruchsbelästigungen, wodurch Nutzungen wie Trinkwassergewinnung, Fischerei und Erholung stark eingeschränkt werden (Abb. 2). In eutrophierten Gewässern können darüber hinaus andere Belastungsfaktoren in ihrer Wirkung synergistisch verstärkt werden, da diese Ökosysteme teilweise destabilisiert sind.

Der Nährstoff Phosphor (P) steuert als Minimumfaktor in den meisten Binnengewässern den Grad der Eutrophierung. Während in den letzten beiden Jahrzehnten die bis dahin dominierenden punktuellen P-Einträge in Deutschland durch die Einführung phosphatfreier Waschmittel, den höheren Anschlussgrad an Kläranlagen und verbesserte Klärtechnologien um ca. 80% gesenkt werden konnten, wurden die diffusen Einträge nur im ge-

ringen Umfang reduziert. Ein Kernproblem für die Eutrophierung der Binnengewässer ergibt sich aus der unmittelbaren Nachbarschaft intensiv genutzter landwirtschaftlicher Flächen und der Gewässer. Eine langandauernde Überdüngung der Agrarflächen kann zur vollständigen P-Sättigung der gesamten oberen Bodenschicht führen. Die Folge sind extrem hohe mit Abwasserkonzentrationen vergleichbare P-Konzentrationen in den Gewässereinträgen, die auch die Fließgewässer betreffen. Für die letzten Jahrzehnte lässt sich auch eine deutliche Erhöhung der Algenmengen in fast allen Unterläufen der großen deutschen Flüsse nachweisen. An der starken Eutrophierung küstennaher Flachgewässer wird deutlich, dass die Belastungsquellen sogar viele hundert Kilometer vom Wirkungsort entfernt sein können. So ist die Oder wegen der vergleichsweise dichten Besiedlung des Einzugsgebietes mit über 15% an den gesamten Nährstoffeinträgen der Ostsee beteiligt und für die starke Eutrophierung dieses Meeres einer der Hauptverursacher, obwohl der Anteil ihres Einzugsgebietes am gesamten Ostsee-Einzugsgebiet weniger als 7% beträgt. Trotz bereits eingetretener Verringerungen der P-Fracht durch Einführung P-freier Waschmittel und verbesserter Abwasserreinigung liegt das gegenwärtige Niveau der P-Belastung der Ostsee durch die Oder um ca. 70% über dem der Sechziger Jahre (Abb. 3).

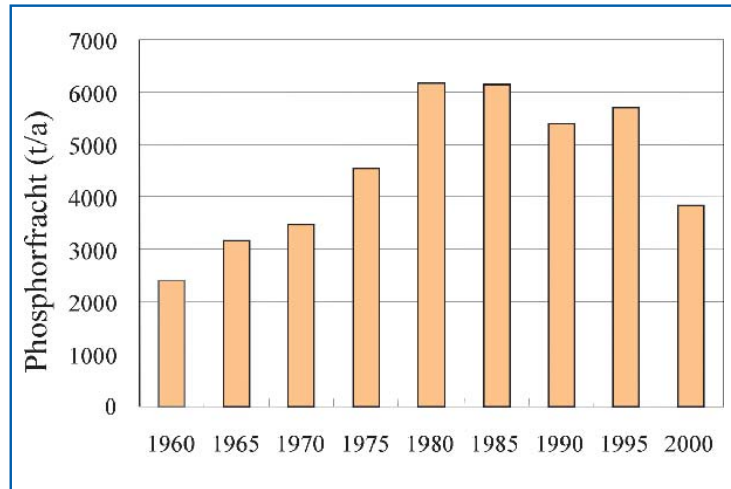


Abb. 3: Phosphatfracht der Oder in die Ostsee (1960–2000)
(Behrendt et al. 2003, UBA-Texte 82/03).

Strategien zur Steuerung von Gewässerökosystemen

Gewässerprobleme werden meist erst dann im öffentlichen Bewusstsein wahrgenommen, wenn es zu Nutzungseinschränkungen und/oder Katastrophen kommt. Für die Planung und Durchführung von Gegenmaßnahmen stellt sich dann die praktische Frage, bis zu welchem Punkt die eingetretene Entwicklung rückgängig gemacht werden soll. Oft wird in Diskussionen der natürliche oder ursprüngliche Zustand als Therapieziel gefordert. Was soll nun als der ursprüngliche Zustand angesehen werden? Die Beschaffenheit des Gewässers, als der Mensch noch nicht entscheidend die Ökosysteme beeinflusst hatte, d. h. etwa im ausgehenden Atlantikum vor gut 5.000 Jahren? Doch es ist nicht möglich, für eine Landschaft, in der das Gewässer liegt, das damalige Klima herzustellen, und es ist in den allermeisten Fällen auch nicht möglich, die heutige Kulturlandschaft in eine unbewirtschaftete Waldlandschaft umzuwandeln. Das maximale Ziel von Maßnahmen kann daher nur ein potentiell natürliches Gewässer sein. Dieser potentiell mögliche Zustand kann durch bestehende Richtlinien und Regelwerke für jedes Gewässer individuell abgeschätzt werden und ist eine wichtige Grundlage, den Handlungsbedarf einzuschätzen. Gewässer haben wegen ihrer vielfältigen physikalischen, chemischen und biologischen Struktur ein unterschiedliches Vermögen, externe Belastungen zu kompensieren. So ist zum Beispiel das Selbstreinigungsvermögen für or-

ganische Stoffe in einem ausgebauten, begradigten Flusssystem im Vergleich zu naturnah strukturierten Flussläufen viel geringer. Daraus ergibt sich, dass man einige Strukturen und Prozesse innerhalb des Gewässers so optimieren könnte, dass die Symptome einer zu hohen Belastung möglichst gering gehalten werden. Das kann ökonomisch sehr sinnvoll sein, wenn wegen des hohen Anteils diffuser Belastungsquellen mit vertretbarem Kostenaufwand keine ausreichende Lastsenkung möglich ist. Moderner Gewässerschutz sollte daher immer eine Kombination interner und externer Verfahren in Erwägung ziehen. Bereits im Einzugsgebiet kann man durch eine ressourcenschonende Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen die diffusen Nährstoffeinträge in die Gewässer mindern. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, ursprüngliche Nährstoff-Senken der Landschaft, wie Niedermoore, Sölle und Auen, wieder in Funktion zu setzen und letztlich damit ein nachhaltiges Stoffstrommanagement zu verwirklichen (Abb. 4). Intakte Ökosysteme sorgen durch kurzgeschlossene Wasser-, Nähr- und Mineralstoffkreisläufe für eine Minimierung von Stoffverlusten. Ist ein solcher zusätzlicher Rückhalt im Einzugsgebiet nicht zu schaffen, können Belastungen auch in der unmittelbaren Umgebung von Gewässern durch den Bau von Phosphor-Eliminationsanlagen zur Reinigung des Flusswassers oder durch Schaffung von Puffersystemen wie Vorsperren oder Schilfpolder reduziert

werden. Im Gewässer selbst können mit Hilfe ökotechnischer Verfahren gewässerinterne Prozesse so beeinflusst werden, dass weniger Nährstoffe für die Primärproduktion im Wasserkörper zur Verfügung stehen oder die negativen Auswirkungen eines zu hohen Trophiegrades vermindert werden. Wird z. B. der P-Rückhalt in den Sedimenten eines Sees durch den Einsatz von Fällungsmitteln erhöht, kann der Eintrittszeitpunkt der angestrebten Verbesserung bei gleichzeitiger externer Lastminderung um viele Jahre verlagert werden. Damit könnten auch

Restbelastungen kompensiert werden, oder man gelangt zu P-Konzentrationen im Wasser, bei denen positive Rückkopplungseffekte auftreten oder weitere Verfahren wirkungsvoll eingesetzt werden können. Ein gutes Beispiel dafür ist die „Biomaniplation“, die besonders in flacheren Seen sehr erfolgreich sein kann. Bei dieser Ökotechnologie wird der Fischbestand so optimiert, dass über die „Abwärtssteuerung“ des Nahrungsnetzes ein verstärkter Fraßdruck auf die unerwünschten Algen auftritt und so das Wasser klarer wird.



Abb. 4: Eine konsequente Wiedervernässung von Mooren wie hier in der Niederung der Peene (Mecklenburg-Vorpommern) kann den Nährstoffrückhalt in der Landschaft erhöhen und gefährdete Binnengewässer schützen. (Foto: D. Zak)

Handlungs- und Forschungsbedarf

Gewässerschutzstrategien kombinieren

Neuere Untersuchungen lassen erkennen, dass eine alleinige Orientierung auf die Reduzierung von Einträgen besonders auch mit Blick auf die begrenzten Ressourcen im Gewässerschutz zu überdenken ist. Die Vorstellung, dass „jede Lastsenkung“ sich irgendwie positiv auswirken muss, ist nicht zeitgemäß. Stattdessen sind die Belastbarkeitsgrenzen der Ökosysteme in Abhängigkeit ihrer Struktur zu ermitteln und die vielfältigen Funktionen und ökologischen Dienstleistungen optimal auszunutzen. Die umfassende und aufeinander abgestimmte Integration externer (im Einzugsgebiet realisierter) und interner (im Gewässerökosystem durchgeführter) Steuermaßnahmen macht eine erhebliche Effizienzsteigerung möglich. Dazu wird ein wissenschaftlich belastbares Instrumentarium benötigt, mit dem das Verhalten der Ökosysteme auf funktionaler und prozessorientierter Basis analysiert und Entwicklungstrends mit großer Wahrscheinlichkeit berechnet werden können. Wir benötigen dafür naturwissenschaftlich begründete und gut definierte Leitbilder, die sich an den ökologisch-hydrologischen Hauptfunktionen unserer Gewässer orientieren. Zu ihnen zählen Selbstreinigung, Komple-

xität des Nahrungsnetzes von den Bakterien bis zu den Fischen, Abflussvorgänge, Stofftransporte sowie die Vernetzung von Luft (Klima), Land und Wasser. Wir benötigen bessere Instrumente (Modelle) zur Vorhersage integraler Einflüsse auf Qualität und Quantität unserer Gewässerökosysteme, die globale Klimaänderungen ebenso einbeziehen müssen wie sozialökonomische Veränderungen.

Instrumente für Kosten-Nutzen-Analysen entwickeln

Sehr große Wissensdefizite gibt es bei der ökonomischen Bewertung von ökologischen Gewässerfunktionen. Außerdem zeigt die Praxis, dass auch naturwissenschaftlich gut begründete Management-Maßnahmen Akzeptanzprobleme haben. Es bedarf also weiterer Argumente. Die Einbeziehung der Kosten-Wirksamkeit sollte zukünftig ein wichtiges Element von Gewässerschutzstrategien sein. Dazu fehlen zum Teil noch die wissenschaftlichen Grundlagen.

Diese Forderungen gewinnen auch im Zusammenhang mit der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), in der für alle Oberflächengewässer ein „guter ökologischer Zustand“ pauschal gefordert wird und bewertet werden muss, zunehmend an Bedeutung.

Empfehlungen für die Politik

Wissenstransfer in die wasserwirtschaftliche Praxis beschleunigen

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Funktionsweise von Gewässerökosystemen und ihren Einzugsgebieten sowie Fallstudien sind so auszuwerten, dass sie in anwendungsfähige Entscheidungshilfe-Systeme münden und zur Politikberatung eingesetzt werden können. Je besser die naturwissenschaftlichen Grundlagen bekannt sind, desto schwieriger ist es, entgegen dem Stand des Wissens zu handeln. Auf dieser Basis ist von Seiten der zuständigen Behörden Sorge zu tragen, das wissenschaftlich fragwürdige und dubiose Methoden oder Maßnahmen ohne ausreichende Zustandserhebungen und ohne unabhängige Erfolgskontrollen zukünftig nicht mehr durchgeführt werden. Das Ergebnis über die Wirksamkeit von durchgeführten Management-Maßnahmen sollte von den Auftraggebern nicht verschwiegen werden, denn sie sind eine wichtige Informationsquelle zur Optimierung von Gewässerschutzstrategien.

Gesellschaftliche Akzeptanz erhöhen

Ziel- und Nutzungskonflikte zwischen Bewohnern, Wasser- und Landnutzern sowie Eigentümern von Grund und Boden sind langfristig nur zu bewältigen, wenn die Umweltbildung verstärkt wird und neue Formen des öffentli-

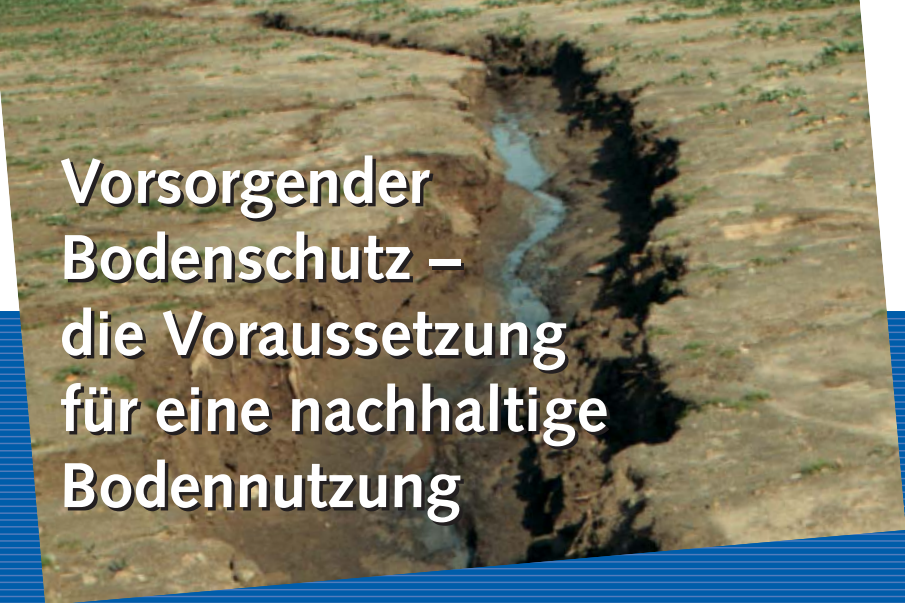
chen Diskurses entwickelt werden. Medieninformationen können dazu beitragen, Wasserprobleme besser wahrnehmbar zu machen und Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Zunehmend sollte die Konfliktschlichtung in Form von runden Tischen, Bürgerbeteiligung oder öffentlichen Veranstaltungen in die Entscheidungsfindung über Bewirtschaftungsmaßnahmen eingebunden werden.

Emissionsprinzip kritisch prüfen

Da die Gewässer mit der terrestrischen Umgebung eng verbunden sind, beginnt wirksamer Gewässerschutz immer im Einzugsgebiet. Viele ökologische und technische Standards orientieren sich bislang an dem Null-Emissionsprinzip (bei toxischen Stoffen), am neuesten Stand der Technik (vierte Reinigungsstufe in Kläranlagen) oder scheinen willkürlich festgelegt zu sein. Für nichttoxische Stoffe sind aber im Einzelfall auch höhere Immissionen möglich, als sich das durch Grenz- und Richtwerte ergibt, wenn die Ökosystemstruktur entsprechend gestaltet und optimiert werden kann. Das wird durch ökotechnologische Verfahren im Gewässer oder durch entsprechende Bewirtschaftungsstrukturen im Einzugsgebiet realisiert. Eine Kombination von hinreichender Lastsenkung und optimierten ökologischen Strukturen kann den ökonomischen Aufwand zur Erreichung eines bestimmten Bewirtschaftungszieles senken.

Ansprechpartner:

Prof. Dr. Rainer Koschel
 Leiter Abteilung Limnologie
 Geschichteter Seen
 Leibniz-Institut für Gewässer-
 ökologie und Binnenfischerei (IGB)
 Müggelseedamm 310
 D-12587 Berlin
 Tel.: +49 (0)30 64181-602
 Fax: +49 (0)30 64181-600
 E-Mail: rko@igb-berlin.de
 Internet: www.igb-berlin.de



Vorsorgender Bodenschutz – die Voraussetzung für eine nachhaltige Bodennutzung

Monika Frielinghaus, Michael Sommer
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)

Böden sind komplexe natürliche Systeme mit biologischen, chemischen und physikalischen Komponenten, deren Reaktionen auf anthropogene Einwirkungen nur teilweise bekannt sind. Maßnahmen und Regelungen zum Schutz der Böden müssen deren Vielschichtigkeit und Vielfalt beachten, die u. a. von der Entstehung, dem Klima und der Nutzung bestimmt wird. Erfahrungen zeigen, dass Böden sehr empfindliche Systeme sind, anfällig für alle Formen von Belastungen durch den Menschen. Negative Veränderungen laufen in der Regel aber sehr langsam ab und die oft folgenschweren Auswirkungen sind selten klar erkennbar. Zumeist werden lediglich die Bodenoberflächen wahrgenommen. Dass Böden eine dreidimensionale Struktur haben und eine Ausdehnung in die Tiefe, bleibt oft verborgen. Die lebenswichtigen Funktionen von Böden sind der Öffentlichkeit vielfach nicht bekannt. Dabei ist die Kenntnis darüber, dass unsere natürlichen Lebensgrundlagen in hohem Maße von der nachhaltigen Erhaltung des Mediums Boden abhängig sind, außerordentlich wichtig.

Böden – die dünne Haut der Erde

Böden nehmen den allerobersten Bereich der Erdkruste ein. Mit zumeist wenigen Metern Mächtigkeit bilden sie eine äußerst dünne Schicht in der Durchdringungszone von Lithosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre und Atmosphäre – gewissermaßen die Haut der Erde. Böden entstehen durch bodenbildende Prozesse über lange Zeiten; in unseren Breiten seit der letzten Eiszeit vor ca. 11000 Jahren.

Als wesentliche Prozesse sind zum einen die physikalische Zerkleinerung und Aggregation sowie die chemisch-biologische Umwandlung von Gesteinen und Pflanzenresten zu nennen (Transformationen), zum anderen die Verlagerung der Bodensubstanzen im Raum (Translokationen). Diese Prozesse führen zu einer vertikalen und horizontalen Differenzierung der ursprünglich unfruchtbaren Gesteine in verschieden mächtige Bodenhorizonte und bilden die Schichten, in denen und mit denen die Böden ihre Funktionen zuverlässig erfüllen. Bodenfunktionen sind sowohl ökologisch als auch ökonomisch und im sozialen Kontext von zentraler Bedeutung, denn:

- Böden können ständig Nahrungsmittel und nachwachsende Rohstoffe bereitstellen und funktionieren dafür als Speicher und Transformatoren für Nährstoffe,
- Böden regeln den Wasserkreislauf der Kontinente,

- Böden sind Puffer, Filter, Transformatoren und Speicher für Schadstoffe (z. B. auch als Senken für Kohlendioxid),
- Böden tragen zur biologischen Vielfalt bei, sie enthalten einen bedeutenden Genpool,
- Böden beeinflussen den Austausch von Strahlung und fühlbarer Wärme mit der Atmosphäre,
- Böden sind bedeutende Archive der Menschheits- und Naturgeschichte.

Eingriffe des Menschen können die zuverlässige Wahrnehmung dieser Funktionen negativ beeinflussen. So können Böden durch menschliche Tätigkeit plötzlich zu Quellen für die klimarelevanten Treibhausgase und Wasser- und Winderosion zu Quellen für Sediment- und Stoffeinträge in Gewässer oder die Atmosphäre werden. Gesunde Böden mit einem ausreichenden Regenerationsvermögen bilden die Garantie für die Erfüllung aller Basisfunktionen innerhalb ökologischer Kreisläufe, in die Menschen, Tiere und Pflanzen eingeschlossen sind. Nur wenn die Leistungsfähigkeit der Böden nicht überfordert wird, können sie in Zukunft weiterhin die Schlüsselrolle für eine nachhaltige Entwicklung spielen. Degradierete Böden dagegen erbringen diese Leistungen nicht mehr oder es bedarf erheblicher Aufwendungen für ihre Regeneration.

Warum ist der sorglose Umgang mit der knappen Ressource Boden international so besorgniserregend?

Der Anteil der kulturfähigen Böden an der eisfreien Landfläche der Erde ist relativ klein und kann kaum vergrößert werden. Nahezu alle frucht- und nutzbaren Regionen der Erde werden bereits vom Menschen bewirtschaftet. Global gesehen sind die Bodenverluste durch Wind- und Wassererosion, Desertifikation (Wüstenbildung) und Versalzung sehr groß. In der UN-Millenniumsklaration wurde festgestellt, dass 2 Mrd. ha ehemals genutztes Land, also eine Fläche so groß wie Kanada

und die USA zusammen, durch menschliches Einwirken irreversible zerstört wurden. Jedes Jahr fallen nahezu 20 Mio. ha aus der Nahrungsmittelproduktion heraus. Diese Bodendegradierung zieht eine unheilvolle Spiralbewegung nach sich: Sie verursacht eine totale Verarmung der dort lebenden Menschen, die wiederum die Ursache für weitere Bodenzerstörung darstellt. Diese Zerstörung kann die kaum messbar verlaufende natürliche Bodenneubildung in keiner Weise kompensieren.

In den Industriestaaten Europas und Nordamerikas spielen Versiegelung, Bodenerosion und Kontamination die größte Rolle und verursachen nachweisbare Schäden. Das größte nationale Problem stellt gegenwärtig eine zu große Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsflächen dar. So wurden im Durchschnitt der Jahre 1997–2001 bundesweit täglich 129 Hek-

tar neuer Bodenfläche durch Versiegelung ihren oben genannten Funktionen entzogen. Das ist auch deshalb besorgniserregend, weil die Bundesrepublik prinzipiell in der Lage wäre, Böden schonend zu nutzen und irreversible Schäden durch wissenschaftlich belegte Schutzprogramme und Aufklärung entgegenzuwirken.



Abb. 1: Gegenwärtig werden täglich noch ca. 129 ha Fläche versiegelt, die so abgedichteten Flächen können ihre Funktionen nicht mehr erfüllen. (Foto: C. Dalchow)

Die Hauptursache für sorglosen Umgang mit Boden ist mangelndes Bodenbewusstsein!

Im Zusammenhang mit der Diskussion um eine europäische Bodenschutzstrategie wurden acht wesentliche Bedrohungen der vielfältigen Funktionen von Böden identifiziert (Mitteilung der EU-Kommission COM (2002) 179):

- Erosion
- Rückgang der organischen Substanz
- Bodenkontamination (lokal und diffus)
- Bodenversiegelung
- Bodenverdichtung
- Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden
- Versalzung
- Überschwemmungen und Erdbeben.

Je nach den verschiedenen Standort- und Lebensbedingungen werden die vielfältigen Bodenfunktionen sehr unterschiedlich und oft nur eingeschränkt wahrgenommen. Durch die Globalisierung des Handels tritt gegenwärtig die Funktion in ihrer Bedeutung zurück, die seit Beginn der Menschheitsentwicklung als am wichtigsten angesehen wurde, nämlich die Fähigkeit zur Produktion von Nahrungsmitteln und nachwachsenden Rohstoffen. Wenngleich für Industrienationen durch die Möglichkeit von Nahrungsmittelimporten diese Fähigkeit fruchtbarer Böden nicht mehr so grundlegend erscheint, hängt für den überwiegenden Teil der wachsenden Menschheit davon ihre zukünftige Existenz ab. In



Abb. 2: Waldböden sind in der Lage, Holz zu produzieren, Lebensräume für Tiere und Pflanzen zu bieten und Kohlenstoff zu binden. (Foto: M. Frielinghaus)

Mitteleuropa wird hingegen die Fähigkeit zur effizienten Erzeugung von nachwachsenden Energieträgern immer entscheidender.

Im Blickpunkt des öffentlichen Interesses steht vielmehr die Funktion der Regelung von Wasserkreisläufen. Insbesondere unter dem Aspekt des globalen Klimawandels gewinnt sowohl die Wasserverfügbarkeit für Pflanzen in der durchwurzelbaren Bodenzone als auch die ausreichende Abflussspende für die Grundwasserbildung ständig an Bedeutung. Im Zusammenhang

mit Hochwasserereignissen wird die Rolle der Wasserspeicher- und Abflussregulierungsfähigkeit landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich genutzter Böden stärker diskutiert. Allerdings sind die Kenntnisse über Ursachen und Folgen solcher Ereignisse im Hinblick auf die Funktion der Böden oft sehr lückenhaft.

Erst ganz allmählich wird die zentrale Stellung der Böden als Garant für biologische Vielfalt stärker beachtet. Allerdings bestehen bei der komplexen und methodisch schwer zu erfassenden Bewertung der Bodenbiozöten (Boden-Lebensgemeinschaften) große Unsicherheiten und Wissensdefizite, insbesondere vor dem Hintergrund komplexer Landschaftsprozesse.

Böden spielen eine wichtige Rolle als Ausgleichsmedium und Kohlenstoffsenke für freigesetzte klimarelevante Gase in die Atmosphäre, insbesondere von CO₂. Bekannt ist, dass z. B. in land- und forstwirtschaftlich genutzten Böden organisch gebundener Kohlenstoff gespeichert ist (mit ca. 1500 Gigatonnen bindet der Boden derzeit etwa doppelt soviel Kohlenstoff, wie – bei steigender Tendenz – im Kohlendioxid der Atmosphäre vorkommt).

Noch nicht geklärt ist, unter welcher Art der Bewirtschaftung dieser Kohlenstoff einerseits freigesetzt oder andererseits zusätzliches CO₂ aus der Atmosphäre gebunden wird. Die Aufklärung der Funktion der Böden als Quelle oder Senke für Treibhausgase bedarf unbedingt verstärkter Forschungsanstrengungen, weil gerade im Zusammenhang mit gegenwärtig ablaufenden Änderungen in der Landnutzung das Problem relevant ist.

Die angeführten Beispiele belegen, welche Basisleistungen von der begrenzten Ressource Boden für eine nachhaltige Entwicklung erbracht werden können. Dafür müssen eine stabile und belastbare Qualität der Böden erhalten und die Risiken durch menschliche Nutzung in allen Regionen eingeschränkt werden, die noch nicht irreversibel geschädigt sind. Notwendig ist dazu die zügige Bereitstellung von verbindlichen Vorsorgekonzepten für Böden in Agrarlandschaften. Für deren Umsetzung werden erprobte Indikatoren und Bewertungsmethoden benötigt, mit deren Hilfe die Wirkung von Landnutzungsänderungen abgeschätzt werden können.

Was hemmt gegenwärtig einen wirksamen vorsorgenden Bodenschutz?

Während Wasser und Luft als lebensnotwendige Stoffe in den letzten Jahren immer stärker akzeptiert und Gesetze zu ihrem Schutz verabschiedet wurden, ist ein „Bodenbewusstsein“ in der Gesellschaft noch nicht ausreichend entwickelt. Das im Jahr 1998 verabschiedete Bundesbodenschutzgesetz mit entsprechenden Verordnungen setzt zwar einen rechtlichen Rahmen für Gefahrenabwehr und Vorsorge, die Umsetzung in den Ländern ist aber besonders bei dem Aspekt der Vorsorge (§ 17) noch unbefriedigend. Die Hauptgründe dafür sind:

1. Böden werden unter ökonomischen Gesichtspunkten nur zweidimensional als Quadratmeter Fläche mit Preis und Vermögen assoziiert. Sie werden im Kontext mit Bauland, Siedlungsstruktur, Autobahnbau, Gewerbeflächen / Arbeitsplätzen wahrgenommen. Eine dreidimensionale Sicht auf den Bodenkörper und damit auf seine Lebens- und Stoffkreisläufe wird kaum vermittelt. Somit wird keine Beziehung zur Notwendigkeit eines vorsorgenden Bodenschutzes hergestellt.
2. Bodenfunktionen sind bisher nicht ausreichend beschrieben. Vor allen Dingen fehlt eine In-Wert-Setzung der Böden unter dem Aspekt der sogenannten Multifunktionalität. Das führt zu einer einseitigen Betrachtung des Bodens als Handelsobjekt bzw. allenfalls noch zu einer eingeschränkten Bewertung seiner Er-

tragsfähigkeit. Dieser Mangel erschwert die Argumentation für den vorsorgenden Bodenschutz.

3. Die Hauptnutzer der Böden in ländlichen Räumen, die Landwirte, stehen unter erheblichem wirtschaftlichen Druck, der sich aus den niedrigen Weltmarktpreisen für ihre Produkte ergibt. Das macht bis heute eine Produktsubventionierung notwendig, die in ihrer jetzigen Form nicht auf eine standortgemäße und risikoverminderte Bodennutzung abzielen kann.
4. Am Beispiel des hohen Flächenentzugs wird deutlich, dass es weder einen abgestimmten Rechtsrahmen noch abgestimmte Entscheidungspfade für den vorsorgenden sparsamen Umgang mit der begrenzten Ressource gibt. Der Bund setzt ökonomische und rechtliche Rahmenbedingungen. Die Länder verantworten die Regionalplanung, die Gemeinden stellen die Flächennutzungs- und Bebauungspläne auf und die Investoren bestimmen den tatsächlichen Flächenverbrauch.
5. Vorsorge setzt eine kontinuierliche Forschung und intensive Wissensvermittlung durch entsprechende Beratungsdienste voraus. Die Methoden zur Risikoabschätzung und zu effektiven Schutzverfahren sind in den vergangenen Jahren ausreichend erarbeitet worden, die Umsetzungsinstrumente in die Praxis sind allerdings nicht dementsprechend entwickelt worden.

Wie können Forschungsergebnisse in der Praxis schnell und wirksam umgesetzt werden?

An verschiedenen Beispielen kann aufgezeigt werden, dass für die Praxis aufbereitete anwendungsorientierte Forschungsergebnisse viel schneller genutzt werden könnten, wenn die entsprechenden Überleitungsstrukturen geschaffen würden. Die für den Agrarsektor zuständigen Landesanstalten sind hierfür ein wichtiger Transformator. Sobald wissenschaftliche Einrichtungen, Landesanstalten für Land- und Forstwirtschaft, geologische Landeseinrichtungen sowie Umweltämter und Landnutzer unter Leitung des für den vorsorgenden Bodenschutz zuständigen Referates im Ministerium ihre Erfahrungen und ihr Wissen zusammenbringen, entsteht eine hohe Effizienz. Voraussetzung sind eine klare Zielorientierung, der Standortbezug (Bundesland) sowie ein vorgegebener Zeitrahmen. Die Schwerpunkte Vorsorge gegen Bodenschadverdichtung und gegen Bodenerosion konnten auf diese Weise für die Länder Brandenburg (Runder Tisch Nachhaltige Bodennutzung) und Mecklenburg-Vorpommern (Arbeitsgruppe Bodenschutz) übergeleitet werden.

Gegenwärtig werden die Risiken der Grenzstandorte (Humusverluste, Versauerung) in die Forschung aufgenommen. Das ist um so wichtiger, als auch die Böden dieser ungünstigen Standorte Funktionen in Landschaften ausüben müssen und alternative Nut-

zungsmöglichkeiten besonders unter sozioökonomischem Aspekt erwartet werden.



Abb. 3: Durch Wassererosion werden große Mengen Boden transportiert und teilweise in Gewässer eingetragen. (Foto M. Frielinghaus)



Abb. 4: Nach Jahrzehnte dauernder Bodenerosion stellt sich eine große Flächenheterogenität ein (hell: Abtragsbereiche; dunkel: Akkumulationsbereiche). (Foto: C. Dalchow)

Empfehlungen für die Politik

Für die Politik sind folgende Handlungsempfehlungen zu unterbreiten:

- Bund und Länder müssen ihre Aktivitäten grundsätzlich stärker auf einen vorsorgenden Bodenschutz richten, weil dieser die zentrale Basis für eine nachhaltige Nutzung der begrenzten Ressource Boden darstellt.
- Eine gleichberechtigte Verzahnung des Bodenschutzes mit anderen Rechtsbereichen und die Entwicklung transparenter und kompetenter Umsetzungsstrategien ist dringend notwendig und, wie das Beispiel Flächenverbrauch zeigt, längst überfällig.

Eine wesentliche Reduzierung des Verbrauchs könnte mit dem Instrument der sogenannten handelbaren Flächenausweisungsrechte erzielt werden. Es wäre dabei hoheitliche Planungsaufgabe, den Umfang der zugelassenen Versiegelungsfläche landes- oder gar bundesweit in wiederkehrenden Zeitabständen festzulegen. Damit würde ein Rahmen für die maximal zulässige Flächeninanspruchnahme je Zeiteinheit gesetzt.

- Der Aufbau von Datenbanken und der Informationsaustausch zu flächenrepräsentativen Bodendaten sollte effektiver und kostenneutral gestaltet werden. Damit würden die im Moment aufgebauten bürokratischen und kommerziellen Hürden, die zu mangelnder Abstimmung und Datenfriedhöfen führen, abgebaut.
- Dringend erforderlich sind eine Aufklärung und Beschreibung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Funktionen, die Böden realisie-

ren müssen. Die Ergebnisse müssen die Grundlage sein für eine In-Wertsetzung dieser Funktionen. Damit würde ein großer Fortschritt in der Verbindlichkeit des vorsorgenden Bodenschutzes erreicht werden können.

- Mittels gezielter Vorgehensweise ist eine Akzeptanzsteigerung eines sorgfältigen und bewussten Umgangs mit Böden in allen Kreisen der Bevölkerung notwendig. Dazu sind viele Aktionen wie Bodenlehrpfade oder die Kampagne Boden des Jahres geeignet, deren Breitenwirkung von politischer Seite, z. B. durch die Ministerien für Bildung und Kultur, un-



Abb. 5: Die Kampagne Boden des Jahres schafft Bodenbewusstsein in der Gesellschaft und sollte von Politikern unterstützt werden. Die Schwarzerde ist der erste Boden des Jahres. (Foto: I. Merbach)

bedingt stärker unterstützt werden muss.

- Bodenschutz ist ausgesprochen standortspezifisch zu betrachten. Damit beauftragte Behörden sind vielfach überfordert, bereitstehendes Wissen gelangt nicht bis zu den Landnutzern. Für die intensivere und damit effektivere Zusammenarbeit der verschiedenen jeweils mit Detailfragen beauftragten Ressorts müssen Ziele und Aufgaben klarer definiert werden. Aller Sachverstand ist auf einen vorsorgenden Bodenschutz gerichtet zu bündeln (siehe Beispiel Runder Tisch Nachhaltige Bodennutzung in Brandenburg oder AG Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern). Die Gruppe der Bodenspezialisten der Länder, zugeordnet der

VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten), stellt ein wichtiges Gremium zur Erfahrungsvermittlung zwischen den Ländern dar und sollte weiterhin unterstützt werden.

Ansprechpartner:

Prof. Dr. Hubert Wiggering
 Direktor des Leibniz-Zentrums für
 Agrarlandschaftsforschung (ZALF)
 Eberswalder Str. 84
 D-15374 Müncheberg
 Tel.: +49 (0)33432 82-200
 Fax: +49 (0)33432 82-223
 E-Mail: wiggering@zalf.de
 Internet: www.zalf.de

Verbraucherschutz durch moderne Landwirtschaft

Martin Geyer, Helene Foltan
Leibniz-Institut für Agrartechnik Bornim (ATB)

Verbraucherschutz reicht vom Schutz der Verbraucherinnen und Verbraucher vor Gefahren für ihre Gesundheit bis hin zum Schutz ihrer wirtschaftlichen Interessen. Der vorliegende Beitrag „Verbraucherschutz durch moderne Landwirtschaft“ umreißt die Anforderungen der Verbraucher und des Handels an die Qualität und Sicherheit pflanzlicher und tierischer Lebensmittel. Er zeigt auf, welche Maßnahmen im Rahmen der landwirtschaftlichen Produktion ergriffen werden können, um eine hohe Qualität der Produkte zu gewährleisten und gesundheitliche Risiken für die Konsumenten auszuschließen. Die Landwirte setzen bei der Produktion von Nahrungsmitteln zunehmend auf Informationstechnologie, Sensoren und satellitengestützte Verfahren: Hightech trägt dazu bei, die Umwelt zu schonen und schafft u. a. durch neue Möglichkeiten der Dokumentation auch größere Sicherheit für die Verbraucher.

Die Handlungsempfehlungen am Ende des Artikels machen deutlich, dass die Globalisierung im Bereich der Lebensmittelproduktion und des Handels die Einführung grenzüberschreitender Qualitätssicherungssysteme erforderlich macht. Länderübergreifende Transparenz und Kommunikation sowie einheitliche Grundregeln sind wichtige Voraussetzungen für zielgerichteten und präventiv wirkenden Verbraucherschutz. Letztlich ist das Vertrauen der Verbraucher in Lebensmittel nur durch lückenlose Kontrolle und Rückverfolgbarkeit zu gewinnen. Dem Verbraucher, dem Handel und der Politik muss jedoch auch klar sein, dass hohe Qualität und Produktsicherheit nur zu angemessenen Preisen möglich sind.

Lebensmittel: gut, preiswert – und sicher?

Die Quadratur des Kreises

Die Verbraucher erwarten von Lebensmitteln, dass

- diese sicher und qualitativ hochwertig sind,
- sie zu moderaten Preisen angeboten werden, und dass
- bei deren Erzeugung Umwelt- und Tierschutzaspekte berücksichtigt werden.

Auch der Einzelhandel und die verarbeitende Industrie wollen sichere und qualitativ hochwertige Produkte zu möglichst niedrigen Preisen einkaufen. Hinzu kommt, dass sie für die Verarbeitung große Mengen an Rohstoffen mit definierter und möglichst gleich bleibender Qualität „just in time“ benötigen. Die Herkunft spielt dabei kaum eine Rolle – sofern der Preis stimmt.

Hohe Produktqualität bei gleichzeitig niedrigen Preisen erscheint als scheinbar unlösbarer Widerspruch. Durch optimiertes Management, Großeinkauf und reduzierten Service ist der Handel bestrebt, beiden Forderungen gerecht zu werden. Die Anforderungen an Qualität und Sicherheit von Lebensmitteln reichen Handel und Verarbeiter dabei an die Primärprodu-

zenten, die Landwirte weiter. Von ihnen wird seitens der kritischen Öffentlichkeit auch erwartet, dass sie bei der landwirtschaftlichen Produktion zunehmend Umwelt- und Tierschutzaspekte berücksichtigen.

In der öffentlichen Meinung ist das Bild der Landwirtschaft häufig geprägt durch mangelndes Verständnis für die Zusammenhänge zwischen Natur, Umwelt und Produktion. Verschiedene Lebensmittelskandale haben zudem zu einem Imageverlust der Anbieter beigetragen und das Vertrauen der Konsumenten in die Sicherheit von Lebensmitteln stark erschüttert – obwohl durch Rückverfolgung Ursache und Verursacher meist identifiziert werden konnten.

Vielen Verbrauchern ist heute kaum mehr bewusst, dass Ernährung ohne Landwirtschaft nicht denkbar ist. Alle Lebensmittel, die der Mensch zu sich nimmt, ob Kartoffeln oder Gummibärchen, entstammen ganz bzw. in ihren Komponenten der landwirtschaftlichen Produktion.

Landwirte und Verbraucher haben fraglos ein gemeinsames Interesse an hochwertigen und sicheren Lebensmitteln.

Was kann die moderne Landwirtschaft zur Sicherstellung von Produktqualität und Produktsicherheit beitragen?

Gesetzliche Vorschriften, vernetzte Warenströme, wissenschaftliche Erkenntnisse und die öffentliche Meinung stellen die Erzeuger von Lebensmitteln und damit an erster Stelle die Landwirte vor ständig neue Aufgaben. Am Beispiel von zwei Produktgruppen wird deutlich, dass Sicherheit der Produkte, höchste Produktqualität und Qualität der Produktionsprozesse stets oberstes Gebot sind.

Beispiel Massengüter

Die Produktion von Massengütern, wie Getreide oder Ölsaaten (z. B. Lein, Sonnenblumen oder Raps) hat in Deutschland große wirtschaftliche Bedeutung. Allein auf 7 Mio. ha, das entspricht 58 % der Ackerfläche, wird Getreide angebaut.

Das Qualitätsmanagement beginnt bereits beim Anbau. Dank neuer agrartechnischer Verfahren werden im Unterschied zur bisher üblichen Praxis der großflächig einheitlichen Bewirtschaftung von Feldern Pflanzenschutzmittel und Dünger in Zukunft verstärkt nach Bedarf und örtlich differenziert ausgebracht:

- Mineraldünger dort, wo Nährstoffe fehlen,
- Herbizide (Unkrautbekämpfungsmittel) nur dort, wo Unkraut steht, und

- Mittel gegen Erreger von Pflanzenkrankheiten und Schädlinge nur dort, wo Erkrankungen und Befall auftreten.

Möglich ist dies durch den Einsatz von Sensoren und Informationstechnologie bei der Steuerung der Landmaschinen und technischen Geräte. Beispielsweise erkennt ein am Traktor angebrachter opto-elektronischer Sensor während der Fahrt, ob Unkraut vorhanden ist. Die Pflanzenschutzspritze hinter dem Schlepper wird dann über einen Prozessrechner automatisch „online“ geregelt: Bei Vorhandensein von Unkraut werden Herbizide ausgebracht, dort wo kein Unkraut steht, wird die Spritzmenge gedrosselt (Abb. 1). Durch Nutzung von Satellitennavigationssystemen (GPS) und mit Hilfe geographischer Informationssysteme (GIS) lassen sich die ackerbaulichen



Abb. 1: Ein Kamerasensor steuert „online“ die auszubringende Menge an Pflanzenschutzmitteln. (Foto: ATB)

Maßnahmen auch „ortspezifisch“ dokumentieren.

Vorteile dieser neuen „präzisen“ Verfahrensweisen sind u. a.:

- eine geringere Rückstandsbelastung auf Pflanzen bzw. Früchten – also größere Produktsicherheit,
- ein geringerer Gesamtbedarf an Pflanzenschutzmitteln und Mineraldünger – damit verbunden eine wirksame Reduzierung der Umweltbelastung sowie deutliche Kosteneinsparung für den Landwirt, sowie
- eine verbesserte Rückverfolgbarkeit aufgrund einer detaillierten Dokumentation der bei der Herstellung eingesetzten Mittel.

Die Landwirtschaft muss nicht nur qualitäts- und sicherheitsorientiert produzieren, sondern ist auch gezwungen, die pflanzenbaulichen Maßnahmen im Einzelnen nachzuweisen. Bisher war dafür ein „buchhalterischer“ Nachweis ausreichend. Zunehmend verlangen Verarbeiter der ersten Stufe, also Mühlen oder die Futtermittelindustrie, von der Landwirtschaft bzw. den Zulieferern umfassendere Garantien bezüglich Produktqualität und Produktsicherheit. Dieser Forderung kommen immer mehr Landwirtschaftsbetriebe dadurch nach, dass sie eigene Qualitätsmanagementsysteme etablieren und diese akkreditieren lassen, z. B. nach ISO 9000.

Noch besteht erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf, um den Landwirten die Ausstattung mit zukunftsweisenden technischen Lösungen kostengünstig zu ermöglichen. Eine flächenweite Implementierung der neuen Verfahren der „Präzisionslandwirtschaft“ würde der Forderung nach einer nachhaltigen Entwicklung Rechnung tragen und insbesondere durch

die Möglichkeit der Rückverfolgbarkeit auch den Schutz der Verbraucher stärken.

Tierische Produkte und Futterqualität

Die grundsätzliche Herangehensweise zur Gewährleistung hoher Qualität und Sicherheit bei tierischen Produkten ist vergleichbar mit der Erzeugung pflanzlicher Lebens- und Futtermittel – allerdings sind die Produktionsprozesse und Verarbeitungsschritte in der Tierproduktion meist komplexer.

Klassische Produkte aus der Tierhaltung sind Fleisch, Milch und Eier. Untersuchungen dieser Produkte auf gesundheitliche Unbedenklichkeit, z. B. die „Fleischschau“ oder Untersuchungen auf Keimzahlen und zur Qualität von Milch haben bereits Tradition. Dies spiegelt sich in der großen Zahl von Vorschriften und gesetzlichen Regelungen wider.

Darüber hinausgehende Qualitätssicherungssysteme, die eine lückenlose Dokumentation der eingesetzten Verfahren über die gesamte Produktionskette beinhalten – von der Futterherstellung über die Fütterung und die Haltung der Tiere, die Produktverarbeitung bis hin zur Ladentheke – sind bisher nur in Teilbereichen etabliert.

Beispielsweise ist qualitativ hochwertiges und gesundes Futter eine wesentliche Grundlage für gesunde Tiere und damit für sichere tierische Produkte. Besonders anfällig gegen Besiedlung mit Schimmelpilzen sind u. a. Silagen zur Fütterung von Rindern (Abb. 2). Das gesundheitliche Risiko wird zwar durch eine saubere Siliertechnik und durch Verzicht auf



Abb. 2: Gesundes Futter ist eine wichtige Voraussetzung für sichere tierische Produkte. (Foto: Provinzregierung Alberta, Canada)

Verfütterung der verpilzten Partien minimiert. Letzte Sicherheit kann aber nur durch den schnellen Nachweis von Mykotoxin im Futter gewährleistet werden. Geeignete Methoden zur Schnellerkennung fehlen bislang.

Ein weiterer Schritt in Richtung Sicherheit ist der Herkunftsnachweis der Tiere einschließlich einer Dokumentation der jeweiligen Erkrankungen, Veterinärbehandlungen und Medikamengaben. Die moderne Agrartechnik ermöglicht im Zuge der Automatisierung von Prozessen der Tierhaltung eine automatische Datenerfassung. Eine wesentliche Grundlage hierfür ist die elektronische Einzeltieridentifizierung speziell bei größeren Nutztieren, also Rindern und Schweinen. Die Tiere erhalten ein elektronisch lesbares Halsband oder ein Injektat, mit dem sie von Geburt bis zur Schlachtung ein-

deutig gekennzeichnet sind. Hightech im Stall und auf der Weide steht keineswegs im Widerspruch zu einer tiergerechten Haltung. Mit neuen Sensoren lässt sich z. B. die Herzfrequenz der Tiere, deren Körpertemperatur und Mobilität erfassen. Dies liefert Informationen zum Fortpflanzungsprozess, z. B. zur Brunst oder zur bevorstehenden Geburt, und ermöglicht die Früherkennung von Erkrankungen beim Einzeltier (Abb. 3). Aussagen zu Stress oder Wohlbefinden sind wesentliche Voraussetzung für die tiergerechte Gestaltung von Halteverfahren einschließlich des Tiertransports. Tiergerechtigkeit ist nicht nur eine ethische Fragestellung, mit dem Wohlbefinden steigt auch die Leistung von Nutztieren.



Abb. 3: Automatische Überwachung der Herzfrequenz am Tier zur Messung der Stressbelastung. (Foto: ATB)

Wie lassen sich Produktqualität, Produktsicherheit und umweltgerechtes Handeln an die Verbraucher vermitteln?

Sicherheit braucht Transparenz. Eine weitgehend automatisierte und damit fälschungssichere Dokumentation aller Prozesse in der Produktionskette, einschließlich Transport und Logistik, ist bisher nur in Teilbereichen realisiert. Nur sie kann den Nachweis über eine sachgemäße Produktionsweise erbringen und damit Produktsicherheit garantieren. Im Konfliktfall ermöglichen die Daten die Rückverfolgung bis zum Verursacher eines Problems, der dann in Haftung genommen werden kann. Die Vielzahl der bei der Herstellung anfallenden Einzeldaten ist für den Verbraucher nicht von Interesse. Er möchte Produktsicherheit beim Einkauf in jedem Fall voraussetzen können und muss sich auf die durch den Hersteller verbürgte Produktqualität und -sicherheit verlassen. Orientierungshilfe bietet eine Fülle von Qualitätssiegeln, wie das Siegel „Qualität und Sicherheit - QS“, insbesondere für Fleisch, oder „QM“ für Milch und Milchprodukte. Zunehmend finden sich auf den Verpackungen auch An-

gaben zum Produktionsprozess, z. B. „aus kontrolliertem Anbau“. Ökosiegel der Öko-Landverbände bzw. das EU-Bio-Siegel garantieren insbesondere die Einhaltung von umwelt- und tiergerechten Produktionskriterien, z. B. den Verzicht auf chemischen Pflanzenschutz und auf gentechnisch veränderte Produktionsmittel. In allen Fällen unterliegt die gesamte Produktionskette einem Qualitätsmanagement. Im Gegensatz zu Bio-Produkten fehlen für die meisten international gehandelten, in Ländern außerhalb nationaler oder EU-Gesetzgebung erzeugten Lebensmittel und deren Bestandteile bislang verlässliche grenzüberschreitende Qualitätssicherungssysteme. Hier besteht dringender Handlungsbedarf – auch im Hinblick auf größere Markttransparenz. Die Möglichkeit, über die individuelle Kaufentscheidung die nachhaltige, ressourcenschonende und biodiversitätserhaltende Herstellung von Produkten zu fördern, muss ausgebaut werden.

Vor welchen Herausforderungen steht die agrartechnische Forschung?

Aus dem umfangreichen Spektrum der agrartechnischen Forschung werden auch in der Zukunft wichtige Ergebnisse für die weitere technologische und wirtschaftliche Entwicklung des Agrar- und Ernährungssektors erwartet. Für umfassende – auch politische – Innovationen sind allerdings neue, systemorientierte Themen zu formulieren, die neben den rein technisch-technologischen Fragestellungen auch soziale Komponenten sowie die Sichtweise der Verbraucher einbeziehen. Über diesen Ansatz können neue, wissenschaftlich fundierte Handlungsspielräume erschlossen und wirksame Beiträge zur Umsetzung der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie geleistet werden, die Chancen für mehr Transparenz, Lebensmittelsicherheit und Verbraucherschutz beinhalten. Für die Produktqualität und für die Produktsicherheit sind sowohl spezi-

elle Managementsysteme als auch konkrete technische Lösungen notwendig – und zwar über die gesamte Produktions-, Prozess- und Vertriebskette. Die Agrartechnik kann dabei für einen entscheidenden Teil der Produktionskette Lösungen liefern. Sicherheitsaspekte im Vorleistungsbereich, z. B. bei der Erzeugung von Pflanzenschutzmitteln oder Futtermitteln, oder im nachfolgenden Verarbeitungsbereich liegen jedoch in der Hand anderer Wirtschaftszweige, wie der chemischen Industrie bzw. der Futtermittel- oder Nahrungsmittelindustrie, die jeweils ihre eigenen Qualitätssicherungssysteme haben. Künftige Forschungsprogramme sollen deshalb entsprechenden Erwartungen sowohl der Verbraucher als auch der Erzeuger Rechnung tragen und die Aspekte Nachhaltigkeit und Verbraucherschutz verstärkt integrieren.

Empfehlungen und Handlungsoptionen für die Politik

1. Bewusstsein für die landwirtschaftliche Herkunft der Lebensmittel stärken

Ohne Landwirtschaft gibt es keine Lebensmittel. Gezielte Aufklärungskampagnen sollen beim Verbraucher das Bewusstsein für die landwirtschaftliche Herkunft der Lebensmittel stärken und das Image der Landwirte als Umwelt- und Verbraucherschützer festigen. Bereits in den Schulen muss der Zusammenhang zwischen gesunder und sicherer Ernährung, Landwirtschaft, Natur und Umweltschutz vermittelt werden.

2. Verbraucherschutz in Bildung und Ausbildung stärker verankern

Die Ausbildung im landwirtschaftlichen Bereich, von der praktischen bis zur universitären Ausbildung, muss stärker auf einer ganzheitlichen Betrachtung der gesamten Produktions- und Verarbeitungskette nach Qualitäts- und Sicherheitsaspekten aufbauen.

3. Forschung und Entwicklung für Prävention statt Schadensbehebung

Auch im Bereich der landwirtschaftlichen Primärproduktion treten zunehmend präventive Maßnahmen zur Qualitätssicherung an die Stelle der klassischen Endkontrolle. Die Agrartechnik ist gefragt dazu beizutragen, dass es nicht aus Unachtsamkeit, Unkenntnis

oder auch aus betrügerischem Vorsatz auf Seiten der Erzeuger zu Mängeln mit Auswirkungen auf die Produktsicherheit kommt. Forschung und Entwicklung müssen vorangetrieben und gefördert werden, um dem Landwirt einfache und kostengünstige Verfahren zu erschließen, die es ihm ermöglichen, z. B. durch geeignete Sensoren Getreide bereits während des Ernteprozesses nach Proteingehalt zu sortieren oder durch Schimmelpilze verunreinigte Partien auszusondern.

4. Lückenloses Monitoring und verbesserte Rückverfolgbarkeit

Grundsätzlich ist das Vertrauen der Verbraucher in Lebensmittel nur durch die lückenlose Kontrolle aller Schritte entlang der Produktions- und Verarbeitungskette und durch Rückverfolgbarkeit zu gewinnen. Der weltweite Trend zur Deregulierung und Öffnung der Märkte macht eine stärkere grenzüberschreitende Zusammenarbeit aller am Weltmarkt beteiligten Akteure zwingend erforderlich. Das Ziel ist, international effiziente Qualitätssicherungssysteme mit der Möglichkeit der Rückverfolgbarkeit zu etablieren.

5. Internationale Harmonisierung von Richtlinien forcieren

Insbesondere beim Pflanzenschutz ist eine internationale Harmonisierung der Zulassungsbedingungen und der Behandlungsstrategien dringend erforder-

derlich, um einerseits der nationalen Landwirtschaft die selben Chancen zu gewähren wie ausländischen Anbietern und andererseits die Verbraucher vor unerwünschten Wirkstoffen zu schützen

6. Kompetenzen der Verbraucher stärken

Konsumfreiheit braucht größere Markttransparenz. Angesichts des Überangebots an Information muss diese Transparenz besonders in Form von verständlicher, qualitativ hochwertiger und nützlicher Schlüsselinformation geschaffen werden, z. B. in Form von Gütesiegeln oder Warentestergebnissen. Speziell im Hinblick auf die Globalisierung der Lebensmittelmärkte ist mehr Transparenz hinsichtlich einer umweltschonenden und nachhaltigen Produktionsweise wünschenswert.

Ansprechpartner:

Prof. Dr. Reiner Brunsch
Wiss. Direktor des Leibniz-Instituts
für Agrartechnik (ATB)
Max-Eyth-Allee 100
D-14469 Potsdam
Tel.: +49 (0)331 56-99-0
Fax: +49 (0)331 56-849
E-Mail: atb@atb-potsdam.de
Internet: www.atb-potsdam.de

Feinstaub in Deutschland

Alfred Wiedensohler, Gerald Spindler, Birgit Wehner, Wolfram Birmili, Thomas Gnauk, Erika Brüggemann, Jost Heintzenberg
Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (IfT)

Die Januar 2005 in Kraft getretene Feinstaub-Richtlinie der Europäischen Kommission hat mit ihren stringenten Grenzwerten für Massenkonzentration viel „Staub aufgewirbelt“. Epidemiologische Studien von Atemwegserkrankungen weisen lange schon auf gesundheitliche Folgen erhöhter Partikelbelastung hin. Eine um $10 \mu\text{g}$ pro Kubikmeter erhöhte Massenkonzentration von Partikeln kleiner als $10 \mu\text{m}$ (PM10 genannt), wird beispielsweise mit einem erhöhten Sterblichkeitsrisiko von 0,6% in Verbindung gebracht, und nichts spricht für einen unteren Schwellenwert gesundheitsschädlicher Wirkung. Daher wirkt eine Reduzierung der Umweltbelastung an Feinstäuben in jeden Fall positiv auf die Gesundheitsbilanz der Bevölkerung.

Die Grenzwerte wurden auf Basis einer Risikovorberechnung bestimmt, wobei der Schaden für die Gesellschaft gegen die Kosten von Feinstaub-Minderungsmaßnahmen abgewogen wird. Für 2010 ist eine weitere Verschärfung der einzuhaltenden Grenzwerte vorgesehen, die mit weiteren Forschungsergebnissen zu feinstaubbedingten Krankheiten abgestimmt sein soll.

Entscheidungen in den USA folgend wird von der EU eine Absenkung der oberen Grenzgröße von zehn auf $2,5 \mu\text{m}$ geplant.

Wir schlagen dagegen vor, die Richtlinie auf Partikel unter $1 \mu\text{m}$ zu begrenzen. Für Ruß als potentiellen Kandidaten für Krankheitseffekte sollte es unabhängige Konzentrationsmessungen geben.

Wir empfehlen zudem, auf europäischer Ebene Emissions-Minderungsstrategien zu entwickeln, die insbesondere Technologien in Zentral- und Osteuropa verbessern helfen.

Begleitende Studien zur bisher noch wissenschaftlich unzureichenden Aerosolcharakterisierung und Quellzuordnung sind neben der Überwachung von Grenzwerten unabdingbar.

Was sind Quellen von Aerosolpartikeln, in welchen Größenklassen sind sie zu finden und wie ist ihre chemische Zusammensetzung?

Ein Aerosol ist ein Gas-Partikel-Gemisch, in dem feste oder flüssige Partikel fein verteilt schweben. Die Atmosphäre ist demnach ein Aerosol. Hinter dem Begriff PM10-Feinstaub verbergen sich alle luftgetragenen Aerosolpartikel, die kleiner als $10 \mu\text{m}$ im Durchmesser sind. Partikel über $100 \mu\text{m}$ Durchmesser fallen durch ihr Gewicht schnell aus. Die kleinsten, kurzlebigen Partikel dagegen sind nur wenige Nanometer groß. In der Atmosphäre kommen also Partikel über fünf Größenordnungen vor. Als feine Partikel bezeichnet man im Allgemeinen solche kleiner als ca. $1 \mu\text{m}$, und als grobe solche, die größer als $1 \mu\text{m}$ sind. Der PM10-Feinstaub enthält neben den feinen Partikeln also auch grobe Partikel. Partikel kleiner als $0,1 \mu\text{m}$ werden als ultrafein bezeichnet.

Die Konzentration der Aerosolpartikel wird in der Regel entweder als Anzahl (Anzahl cm^{-3}) oder als Masse ($\mu\text{g m}^{-3}$) angegeben. Während die Partikel im Bereich von $0,1$ - $10 \mu\text{m}$ den Hauptanteil der Masse ausmachen, bestimmen die ultrafeinen Partikel die Anzahl. Die Anzahl ist regional hoch variabel und kann in Deutschland von einigen hundert Partikeln pro cm^3 im ländlichen Raum bis zu mehreren hunderttausend Partikeln pro cm^3 in urbanen Bereichen variieren.

Man unterscheidet zwischen natürlichen und anthropogenen Partikelquellen, sowie primären und sekundären Aerosolpartikeln, d. h. solchen, die direkt emittiert werden oder sich aus kondensierbaren Gasen in der Atmosphäre bilden. Natürliche Aerosolpartikel entstehen z. B. aus erodiertem Material der Erdkruste als auch durch die Dispersion von Meereswasser. Beide Partikelarten sind im groben Größenbereich angesiedelt. In Deutschland entstehen durch die intensive Landwirtschaft in trockenen Perioden im Sommer erhebliche Mengen an mineralischem Feinstaub zwischen 1 und $10 \mu\text{m}$. Küstenregionen sind hingegen stark durch Seesalz in diesem Größenbereich beeinflusst. In urbanen Gebieten werden grobe Partikel hauptsächlich durch Aufwirbelung von der Straße, Bauaktivitäten sowie durch Reifen und Bremsabrieb erzeugt. Pollen oder Sporen fallen in die Kategorie der primären natürlichen Partikel. Eine weitere wichtige Quelle direkt emittierter Partikel sind Verbrennungsprozesse, die hauptsächlich Ruß bzw. Flugasche emittieren. Während in Deutschland das Problem der Flugasche durch Partikelfilterung der Kraftwerke minimiert ist, wird Ruß weiterhin durch Dieselfahrzeuge und Kohle- bzw. Ölheizungen lokal in urbanen Gebieten und regional als Linienquel-

le auf Fernstraßen emittiert. Rußpartikel haben ihr Maximum in der Anzahlkonzentration um $0,1 \mu\text{m}$ und in der Massenkonzentration um $0,3 \mu\text{m}$. Ein erheblicher Anteil der Gesamt-Feinstaubmasse resultiert jedoch von Aerosol-Vorläufer-Gasen, die durch Oxidationsprozesse in der Atmosphäre in kondensierbare Gase umgewandelt werden. Die Gase lassen durch Kondensation existierende Partikel anwachsen. Hierzu zählt sowohl die direkte Kondensation auf Partikeln, als auch die chemische Bildung von Partikelmaterial in nicht-regnenden Wolken. Die Hauptbestandteile sind hierbei Sulfate und Nitrate, aber auch in erheblichen Mengen Kohlenwasserstoffe. Die Vorläuferquellen hierzu sind Schwefeldioxid und Stickoxide aus Verbrennungsprozessen, Ammoniak aus der Landwirtschaft und flüchtige Kohlenwasserstoffe aus Wäldern und

Nutzpflanzen aber auch aus Verbrennungsprozessen. Diese chemischen Komponenten finden sich hauptsächlich im feinen Partikelgrößenbereich wieder.

Die Bildung neuer Partikel aus der Gasphase konkurriert mit der vorgenannten Kondensation. Auch hier sind als mögliche Vorläufergase SO_2 und Kohlenwasserstoffe zu nennen. Dieser Prozess scheint die Hauptquelle neuer Partikel im urbanen Bereich darzustellen. Diese Partikel im Nanometerbereich unter $0,02 \mu\text{m}$ übersteigen in der Anzahlkonzentration deutlich den Anteil der direkt emittierten Rußpartikel, sind jedoch in der Massenkonzentration von geringer Bedeutung.

Senken für das atmosphärische Aerosol sind neben der Sedimentation von groben Partikeln, insbesondere das Auswaschen von Partikeln durch Wolken und Niederschlag.

Trend der Feinstaubbelastung und Ferntransport verschmutzter Luftmassen

Seit Januar 2005 sind folgende Grenzwerte für PM10 einzuhalten: Der Jahresmittelwert soll unter $40 \mu\text{g m}^{-3}$ liegen (Kriterium zur Senkung der Dauerbelastung). Weiterhin dürfen $50 \mu\text{g m}^{-3}$ an nicht mehr als 35 Tagen pro Jahr überschritten werden (Kriterium zur Reduktion von Spitzenbelastungen an einzelnen Tagen).

Der 24-Stunden-Mittelwert von PM10 setzt sich aus der Hintergrundbelastung und dem Anteil der lokalen Quellen zusammen. Der Anteil der Hintergrundbelastung kann hierbei erheblich sein, wie später noch ausgeführt wird. Beispielhaft für Deutschland ist in *Abb. 1* der Trend von PM10 an der Hintergrundstation Melpitz bei Torgau in

Sachsen von 1993–2005 gezeigt. Die grünen Punkte symbolisieren die 24-Stunden-Mittelwerte von PM10 unter und die roten Punkte Werte über $50 \mu\text{g m}^{-3}$. Deutlich wird hier, dass bis 2000 noch ein leichter Abwärtstrend zu erkennen ist. Seitdem liegt jedoch der langfristige Mittelwert bei $20\text{--}25 \mu\text{g m}^{-3}$. Ausnahmen sind besondere Zeitperioden wie z. B. Winter 2002/2003, aber auch Februar–März 2005, in denen die Hintergrundbelastung in Melpitz häufig den Grenzwert von $50 \mu\text{g m}^{-3}$ überschritt. Alleine die ersten drei Monate des Jahres 2005 zeigten schon mehr Grenzwert-Überschreitungen als das ganze Jahr 2004 hatte und die $40 \mu\text{g m}^{-3}$ Schwelle wurde schon an 15 Tagen erreicht.

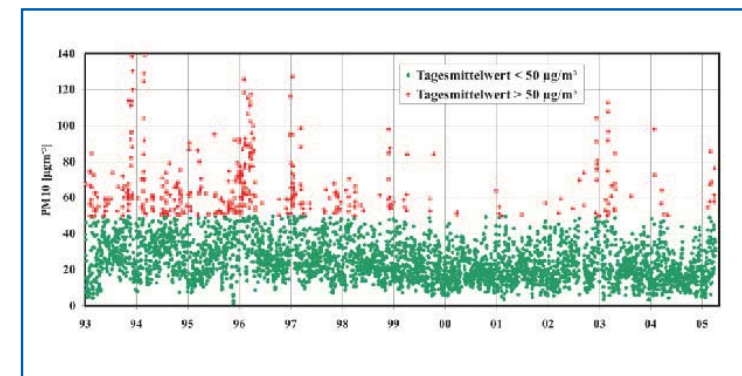


Abb. 1: Trend von PM10 24-Stunden-Mittelwerten an der IFT-Forschungsstation Melpitz, Sachsen, von Januar 1993 bis März 2005.

Der Grund für die im Jahre 2005 oder im Winter 2002/2003 vermehrten Überschreitungen des Grenzwertes bei der Hintergrundbelastung ist Ferntransport von Aerosolpartikeln. Bevorzugt sind hier Wetterlagen, die trockene Luftmassen aus Osteuropa nach Mitteleuropa transportieren. In Abb. 2 werden die Unterschiede zwischen Ost- und West-Wetterlagen sowie für Sommer und Winter an Hand der Messungen in Melpitz deutlich. Die durchgezogenen blauen und roten Kurven stellen die Volumen-Größenverteilungen im Winter und Sommer von 10 nm bis 10 µm dar. Die Volumen-Größenverteilungen wurden aus Anzahlgrößenverteilungen berechnet. Die Konzentrationen in jedem Größenkanal sind auf die Messkanalbreite normalisiert dargestellt. Die Integrale unter den Kurven stellen Gesamt-Volumenkonzentrationen dar. Die Volumenkonzentration ist über die Parti-

keldichte direkt mit PM10 verbunden. An diesen Graphiken wird deutlich, dass die Massenkonzentration im Größenbereich 0,1-1 µm im Winter höher sind, wogegen im Bereich 1-10 µm die Konzentrationen im Sommer ihr Maximum haben. In der stabil geschichteten Winterluft wird das Aerosol weniger verdünnt als in Sommerperioden mit starker Durchmischung. Im groben Partikel-Größenbereich über 1 µm wird dieser Effekt durch landwirtschaftliche Aktivität und erhöhter Erosion in Trockenperioden überkompensiert. Die Volumenkonzentrationen für Partikel im Bereich 1-10 µm sind im Sommer somit deutlich höher als im Winter. Diese groben Partikel haben ihr Konzentrationsmaximum offenbar über 10 µm. Die Volumenkonzentrationen sind für beide Wetterlagen ähnlich. Dies bedeutet, dass die groben Partikel regionalen bzw. lokalen Ursprungs sind.

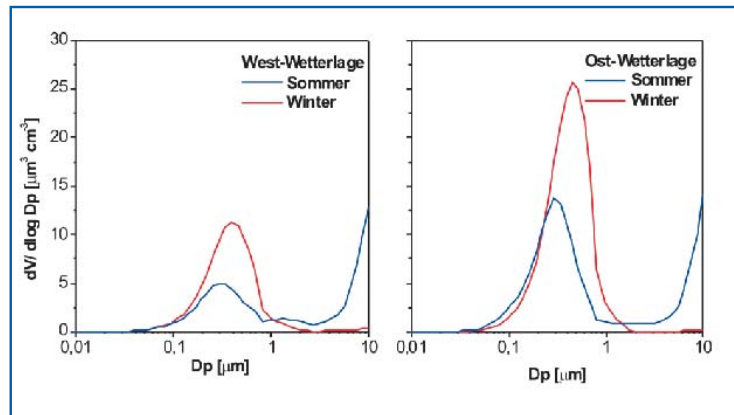


Abb. 2: Mittleres Partikelvolumen als Funktion des Partikeldurchmessers D_p für Sommer und Winter sowie für West- und Ost-Wetterlagen in Melpitz. Die aus Anzahl-Größenverteilungen berechneten Volumen-Größenverteilungen repräsentieren hier die Massen-Größenverteilungen.

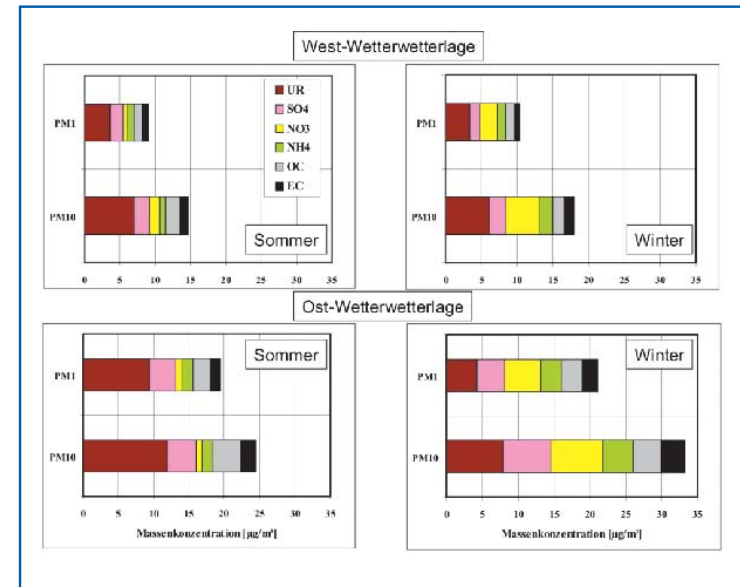


Abb. 3: Chemische Zusammensetzung von PM1 und PM10 für West- und Ost-Wetterlagen sowie für Sommer und Winter, gemessen an der Messstation Melpitz. SO₄=Sulfationen, NO₃=Nitrationen, NH₄=Ammoniumionen, OC=organischer Kohlenstoff, EC=elementarer Kohlenstoff (auch Ruß), UR=unbestimmter Restanteil wie mineralische Komponenten und Restionen.

Vergleicht man hingegen die Ost- und West-Wetterlagen, sind die Volumenkonzentrationen im feinen Größenbereich zwischen 0,1 und 1 µm bei Ost-Wetterlagen deutlich erhöht. Diese Wetterlagen führen somit zu einer deutlich erhöhten Hintergrundbelastung des PM10 Feinstaubes. Gründe hierfür sind einerseits eine verminderte Auswaschung, aber auch stärkere Partikel- und Vorläufergas-Emissionen in Zentral- und Osteuropa. Abb. 3 verdeutlicht die komplexe Zusammensetzung von PM1 und PM10. Es ist erkennbar, dass feine Aerosolpartikel den Großteil von PM10 aus-

machen. Im Sommer machen mineralische Anteile (unter Rest gekennzeichnet) einen Anteil von ca. 50 % daran aus. Bei Ost-Wetterlagen ist der Anteil der aus der Gasphase gebildeten Komponenten (Sulfat, Nitrat, Ammonium, OC) deutlich höher gegenüber von West-Wetterlagen. Dies ist die Folge einer langen Aufenthaltsdauer in der Atmosphäre während des Ferntransports. Die Massenkonzentrationen von Ruß (<10µm) variieren im Mittel zwischen 2 und 4 µg m⁻³ im Hintergrundaerosol. Der Hauptanteil davon befindet sich jedoch im feinen Größenbereich.

Konzentrationen und chemische Zusammensetzung im urbanen Bereich

An urbanen Messstationen tragen das Hintergrundaerosol und lokale Quellen zu PM10 bei. Beispielhaft zeigt Abb. 4 diese PM10 Konzentrationen an zwei Stationen in Leipzig (West und Zentrum) sowie an drei ländlichen Stationen (Melpitz, Colmberg und Radebeul) für die Zeitperiode Ende Dezember 2004 bis Mitte April 2005. In dieser Periode wurde an der Messstation Leipzig-Zentrum der Grenzwert von $50 \mu\text{g m}^{-3}$ mehr als 35-mal überschritten. Die Messstation Leipzig-Zentrum hebt sich zeitweise deutlich gegenüber den anderen Stationen hervor. Bei Grenzwert-

Überschreitungen in anderen Perioden unterscheidet sich die Hintergrundbelastung jedoch nicht signifikant von der Messstation Leipzig-Mitte. Es wird vermutet, dass lokale Staubaufwirbelung und Bauaktivität in manchen Zeitperioden den Anteil der groben Partikel im Bereich $1-10 \mu\text{m}$ deutlich erhöhen. In anderen Perioden wird der Grenzwert jedoch nur überschritten, wenn die Hintergrundbelastung deutlich über $30 \mu\text{g m}^{-3}$ liegt. Eine gewisse Rolle spielt hierbei sicherlich auch die Verdünnung der Luftverschmutzung mit reinerer Hintergrundluft in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit.

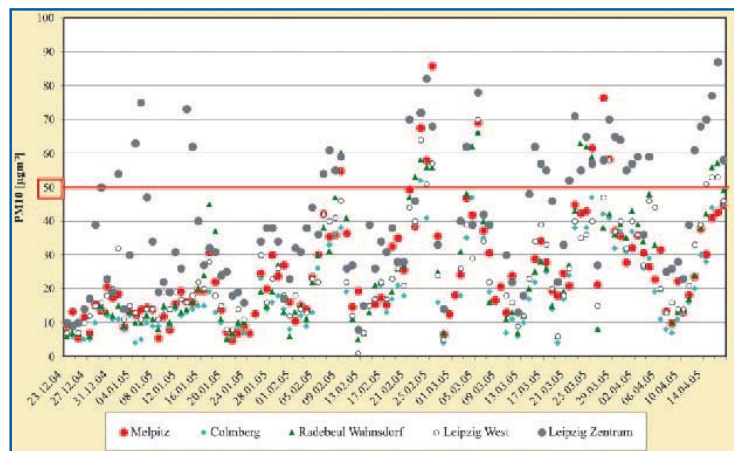


Abb. 4: PM10 an zwei urbanen Stationen (Leipzig-Zentrum und Leipzig West) sowie drei ländlichen Messstationen (Melpitz, Colmberg und Radebeul) im Vergleich für den Zeitraum Ende Dezember 2004 bis Mitte April 2005.

Abb. 5 zeigt die chemische Zusammensetzung von PM10, gemessen in der Eisenbahnstraße in Leipzig im Sommer und Winter 2004. Mittelwerte waren im Sommer ca. $27 \mu\text{g m}^{-3}$ und im Winter ca. $43 \mu\text{g m}^{-3}$. Diese Messungen repräsentieren eine extreme Feinstaub-Belastung in einer stark befahrenen Straßenschlucht. Mittlere Massenkonzentrationen für den durch Dieselfahrzeuge, Reifenabrieb und Hausbrand erzeugten elementaren

Kohlenstoff (darunter fällt auch Ruß) betragen ca. 3 und $7,5 \mu\text{g m}^{-3}$ für die Sommer- bzw. Wintermessungen. Dieselruß ist also nur zu einem begrenzten Teil für die Überschreitung des $50 \mu\text{g m}^{-3}$ Grenzwertes in Städten verantwortlich. Ein Großteil der Masse konnte nicht identifiziert werden (UR, unbestimmter Rest). Hierunter fällt lokal aufgewirbelter Staub, Bremsabrieb, aber auch Staub aus der Hintergrundbelastung.

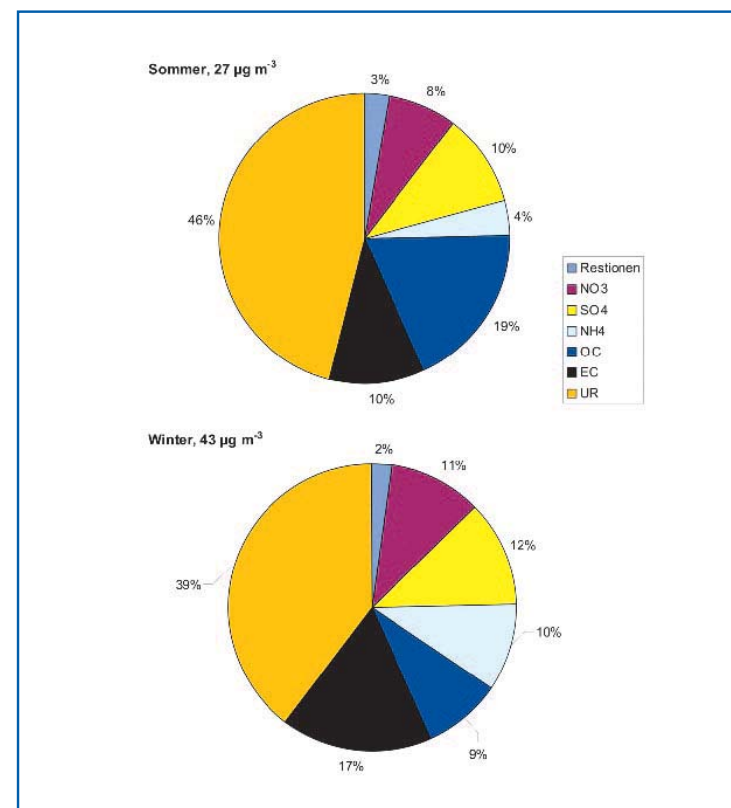


Abb. 5: PM10-Massenfraktionen verschiedener chemischer Komponenten gemessen in der Eisenbahnstraße in Leipzig im Sommer und Winter 2004. SO_4 =Sulfationen, NO_3 =Nitrationen, NH_4 =Ammoniumionen, OC=organischer Kohlenstoff, EC=elementarer Kohlenstoff (auch Ruß), UR=unbestimmter Restanteil.

Schlussfolgerungen und langfristige Maßnahmen

- PM10 ist ein einfaches Maß, um die Luftbelastung durch Aerosolpartikel zu bewerten. Welchen Einfluss die verschiedenen Partikelquellen auf die menschliche Gesundheit haben, lässt sich jedoch damit nicht vorher-sagen. Hierzu werden detaillierte Angaben und Kenntnisse benötigt, zu denen noch erheblicher Forschungsbedarf besteht. Bildungsmechanismen und Quellprozesse des urbanen Feinstaubes sind noch nicht hinreichend aufgeklärt. Das Gleiche gilt für seine gesundheitlichen Wirkungsmechanismen, die mit Größenverteilung, chemischer Zusammensetzung und Mischungszustand der Partikel verknüpft sind.
- Wegen der Komplexität des atmosphärischen Aerosols und den dadurch bedingten messtechnischen Herausforderungen ist die Einbeziehung wissenschaftlicher Kompetenz notwendig. Dies gilt nicht nur für flankierende wissenschaftliche Untersuchungen zu dem vorgenannten Forschungsbedarf, sondern auch für die Erstellung von Luftreinhalteplänen und Minderungsmaßnahmen.
- Die gesundheitliche Relevanz von Außenluftpartikeln im Bereich 1 bis 10 µm ist auf Grund ihrer Zusammensetzung und des Mechanismus der Aufnahme durch den menschlichen Körper wahrscheinlich geringer als die der Partikel kleiner 1 µm.
- Vorgegangenen Entscheidungen in den USA folgend wird in den EU-Fachgremien eine Absenkung der oberen Grenzgröße der Partikel von zehn auf 2.5 µm geplant. Dafür gibt es keine physikalische oder epidemiologische Begründung. Die Grenze von 2.5 µm ist vielmehr historisch bedingt und auf technische Begrenzungen von Aerosolsammlern der Siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts zurück zu führen. Wir schlagen dagegen vor, die Richtlinie auf Partikel unter 1 µm zu begrenzen, weil diese Partikelmasse aussagekräftiger bzgl. Gesundheitsrisiken ist und aerosolphysikalisch gut zu begründen ist.
- Weiterhin sind die Massenanteile der löslichen anorganischen Komponenten im Größenbereich zwischen 0,1 und 1 µm für Gesundheitsrisiken gegenüber den Kohlenstoffkomponenten weniger bedeutend. Daher wäre es sinnvoll, einen zweiten Massengrenzwert für Ruß einzuführen, der für die Abschätzung des Gesundheitsrisikos im urbanen Feinstaub die größte Rolle spielt. Durch eine Überwachung von Ruß lassen sich nationale bzw. europäische Emissionsminderungen bei Dieselfahrzeugen messtechnisch begleiten.
- Als wichtigste Maßnahmen in Westeuropa empfehlen wir die Stilllegung der stärksten Rußemitter unter den

LKWs und Bussen und die Minimierung von Öl- und Kohleverbrennung beim Hausbrand. Zusätzlich zu den Verbesserungen der Verbrennungstechnologien werden Emissionsminderungs-Programme für Zentral- und Osteuropa angeregt, die die hohen regionalen Feinstaubbelastungen bei Ost-Wetterlagen reduzieren würden.

Ansprechpartner:

Prof. Dr. Jost Heintzenberg
 Direktor des Leibniz-Instituts
 für Troposphärenforschung (IfT)
 Permoserstr. 15
 D-04318 Leipzig
 Tel.: +49 (0)341 235-2141
 Fax: +49 (0)341 235-2361
 E-Mail: infoift@tropos.de
 Internet: www.tropos.de