

10. Berliner Kolloquium der Gottlieb Daimler- und Karl Benz-Stiftung
in Zusammenarbeit mit dem
Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe und der
Wasserchemischen Gesellschaft, Fachgruppe in der Gesellschaft Deutscher Chemiker
am 17. Mai 2006 in der Akademie der Konrad-Adenauer-Stiftung, Berlin

Heil-Lasten – Arzneimittelrückstände in Gewässern

Leitung: Prof. Dr. Fritz H. Frimmel

Statements zu den Vorträgen

<i>Gisbert Frhr. zu Putlitz</i>	Stiftung und Kolloquium zum Thema „Heil-Lasten“	2
<i>Fritz H. Frimmel</i>	Einführung	3
<i>Theo Dingermann</i>	Demographische Entwicklung und Arzneimittelverbrauch	5
<i>Hans-Peter Böhm</i>	Abfall- und Abwassermanagement bei der Arzneimittel- produktion der Schering AG	6
<i>Christiane Höller</i>	Pro & Contra des Einsatzes von Antibiotika in der Krankenhaushygiene	8
<i>Tamara Grummt</i>	Arzneimittelrückstände in Gewässern – eine Herausforderung für die Toxikologie	10
<i>Thomas Ternes</i>	Belastung der aquatischen Umwelt mit Arzneistoffen: Potentielle Wege der Elimination	12
<i>Gerd Hamscher</i>	Tierarzneimittel in der Umwelt: Vorkommen, Verhalten, Risiken	14
<i>Karl Fent</i>	Ökotoxikologische Wirkungen von Pharmazeutikarück- ständen auf aquatische Organismen	16
<i>Harald Irmer</i>	Arzneimittelrückstände und Gewässerschutz	18
<i>Thomas Heberer</i>	Verhalten von Arzneimittelrückständen bei der Abwasserreinigung	20
<i>Christian Zwiener</i>	Verhalten von Arzneimittelrückständen bei der (Trink-) Wasseraufbereitung	22
<i>Günter Stock</i>	Vom Verhältnis des Nutzens zum Risiko – Arzneimittel als Beispiel	24

Redaktion: Vaillant und Vonderstein TEXTE, Berlin

*Prof. Dr. rer. nat. Dr. h.c. mult. Gisbert Freiherr zu Putlitz
Vorstandsvorsitzender der Gottlieb Daimler- und Karl Benz-Stiftung*

Ökologische Folgen des Gesundheitssystems



Gisbert zu Putlitz ist Professor für Physik der Universität Heidelberg. Seine wissenschaftliche Arbeit befasst sich mit Elementarteilchen-Physik, Atomphysik und Quantenflüssigkeiten. Er war Wissenschaftlicher Direktor der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI), Vorsitzender der AGF (heute: Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren), Rektor der Universität Heidelberg und der Hochschule für Jüdische Studien Heidelberg sowie Präsident der Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Seit der Gründung der Gottlieb Daimler- und Karl Benz-Stiftung im Jahr 1986 ist er geschäftsführender Vorsitzender des Vorstands.

Knapp 750 Millionen ärztliche Verordnungen in Deutschland allein im Jahr 2003 mit einem Gesamtumsatz von über 24 Milliarden Euro zeigen, in welchem Ausmaß Arzneimittel zu unserem Alltag gehören. Die Zunahme der durchschnittlichen Lebensdauer der Bevölkerung in Zentraleuropa geht unter anderem auf die hohe medizinische Versorgung und die damit verbundene medikamentöse Behandlung zurück. Die Art und Menge der verordneten Arzneimittel sind eng mit der demographischen Entwicklung verbunden.

Jedoch: Kein Arzneimittel wird vom menschlichen Körper vollständig verwertet. Je nach Substanz scheidet der Mensch bis zu 95 % der Wirkstoffe eines Medikaments wieder aus. Die nur zu diagnostischen Zwecken eingesetzten Röntgenkontrastmittel werden zu 100 % wieder ausgeschieden. Über das Abwasser gelangen diese Wirkstoffe in die Gewässer; denn die meisten Kläranlagen können die Stoffe nicht völlig herausfiltern. Hinzu kommen große Mengen nicht genutzter Medikamente, die über den Müll in Stoffkreisläufe eingebracht werden.

Die Frage, was mit den Arzneimitteln nach ihrem Gebrauch geschieht, spielt jedoch nach wie vor nur eine untergeordnete Rolle. Trotz zunehmender Forschung sind die Konsequenzen der bisherigen Praxis für die Umwelt noch nicht in vollem Umfang absehbar. Aus Sicht des vorsorgenden Umweltschutzes erscheint es jedoch angebracht, den Eintrag von Arzneimittelrückständen in die Gewässer möglichst zu minimieren. Auf dem Kolloquium berichten Experten aus Forschung und Industrie über die Entwicklung und Produktion von Arzneimitteln, ihren Gebrauch und ihre Entsorgung sowie die Verteilung und Effekte in der Umwelt. Das Kolloquium bietet das Forum für eine Diskussion

über einen nachhaltigen Umgang mit Arzneimitteln, die bisher in der Öffentlichkeit nicht geführt wurde.

Die Klärung der Wechselbeziehungen zwischen „Mensch, Umwelt und Technik“ ist das Ziel der Gottlieb Daimler- und Karl Benz-Stiftung in Ladenburg (Nordbaden), die in diesem Jahr 20 Jahre alt wird. Seit 1986 fördert sie hierzu interdisziplinäre Forschung in den Ladenburger Kollegs. Darüber hinaus setzt sie mit den Ladenburger Diskursen fachübergreifende Diskussionen zwischen Wissenschaftlern und Verantwortlichen der Praxis zum Thema in Gang. In verschiedenen Programmen zur internationalen Kooperation in den Wissenschaften fördert die Stiftung Forschungsaufenthalte von Doktoranden im Ausland und die Zusammenarbeit deutscher Wissenschaftler mit Kollegen aus verschiedenen Ländern Südostasiens wie Vietnam, Myanmar oder Nord-Korea. Mit den jährlich stattfindenden Berliner Kolloquien hat die Stiftung ein Forum geschaffen, auf dem Wissenschaftler mit Experten der Praxis aktuelle und gesellschaftlich relevante Themen diskutieren.

Prof. Dr. Fritz H. Frimmel
Lehrstuhl für Wasserchemie am Engler-Bunte-Institut
der Universität Karlsruhe (TH)

Einführung



Fritz Frimmel ist Ordinarius und Leiter des Bereichs Wasserchemie am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe. Nach dem Studium der Chemie, mit Promotion und Habilitation an der TU München, führten ihn Forschungsaufenthalte an die University College in Dublin, Irland, sowie an das Department of Environmental Sciences and Engineering der University of North Carolina. Er ist Gastprofessor an der Akademie Nishnij Novgorod (Russland) und Ehrenvorsitzender der Wasserchemischen Gesellschaft sowie Mitglied von Vorständen und Kommissionen im Wasserfach.

Arzneimittel sind in unserer industrialisierten Gesellschaft allgegenwärtig und werden vielfältig genutzt. Die Heilung kurzzeitiger Erkrankungen, die Behandlung chronischer Leiden, Chemotherapien, die Bekämpfung von Epidemien, aber auch Operationen mit intensivmedizinischer Hilfe – all dies wäre ohne Arzneimittel nicht möglich. Neben dem therapeutischen Bereich gibt es das Einsatzfeld von pharmazeutischen Produkten für die Krankenhaushygiene, für die medizinische Diagnostik und die Fertilitätskontrolle.

Die vielseitige Anwendung von Arzneimitteln führt dazu, dass sie über verschiedene Pfade den Weg in die Umwelt finden, insbesondere in die aquatischen Systeme. Die Untersuchungen verschiedener Gewässer auf das Vorkommen von Pharmaka ergaben Konzentrationen von wenigen Milliardstel Gramm bis zu Millionstel Gramm in einem Liter Wasser. Was bewirken diese Spuren in den Gewässern? Für viele Wirkstoffe ist diese Frage nach wie vor unbeantwortet, vor allem, was längerfristige Effekte angeht. Das Beispiel einiger Steroidhormone, für die gezeigt werden konnte, dass sie schon in extrem niedrigen Konzentrationen nachteilige Effekte auf bestimmte aquatische Organismen ausüben können, mahnt jedoch zur Vorsicht. Wir können davon ausgehen, dass unsere derzeitigen Kenntnisse immer noch nicht ausreichen, um abschließend zu beurteilen, welches Risiko von solchen „Spuren“ ausgeht – nicht nur für aquatische Lebewesen, sondern auch für die menschliche Gesundheit.

Umso wichtiger ist es, den Problemen nachzuspüren, die sich aus der Heilnotwendigkeit einerseits und der aus der Produktion und Anwendung von Pharmazeutika abzuleitenden Belastung unserer Lebensräume andererseits

ergeben. Die Erörterung dieser Probleme erhält durch die demographische Entwicklung und die zumindest in Zentraleuropa verbreitete Einstellung: „Gut älter werden durch mehr Arzneimittel“ eine besondere Aktualität. Die transdisziplinäre Diskussion dieser Fakten soll eine zukunftsverträgliche Entwicklung des Umgangs mit Pharmaka sichern helfen.

Prof. Dr. Theo Dinger
Institut für Pharmazeutische Biologie
Goethe-Universität Frankfurt / Main

Demographische Entwicklung und Arzneimittelverbrauch



Nach dem Studium der Pharmazie und Promotion in Biochemie und der Habilitation in Molekularbiologie wurde Theo Dinger 1990 als erster Gentechnologe auf einen Lehrstuhl für Pharmazeutische Biologie an die Goethe-Universität Frankfurt berufen. Er war Vizepräsident dieser Universität und Präsident der Deutschen Pharmazeutischen Gesellschaft. Dinger ist Autor und Herausgeber mehrerer Lehrbücher über die Charakteristika und den Einsatz pharmazeutisch relevanter Naturstoffe und Chefredakteur von zwei wissenschaftlichen Zeitschriften. Seit Ende 2005 ist er der Biotechnologiebeauftragte des Landes Hessen.

Der demographische Wandel in unserer Gesellschaft ist die treibende Kraft für einen in Zukunft immer weiter steigenden Arzneimittelgebrauch. Einerseits durch den wachsenden Anteil älterer Patienten mit mehreren Krankheiten, andererseits durch die Veränderungen des Krankheitsspektrums hin zu langwierigen bzw. chronischen Krankheitszuständen. Die Zeitspanne zwischen Erkrankung und Tod verlängert sich immer mehr – und damit auch die Behandlungsdauer.

Änderungen in der Altersverteilung in einer Gesellschaft werden auch die Arzneimittelentwicklung beeinflussen, und umgekehrt wird sich eine noch bessere Arzneimittelversorgung auch wieder auf die Altersstruktur auswirken. Aber nicht nur der steigende Anteil der „Alten“ spielt beim Arzneimittelverbrauch die entscheidende Rolle. Auch die Jüngeren werden neue Bedürfnisse und Ansprüche geltend machen und nach Mitteln verlangen, die nicht Krankheits-, sondern Alterungsphänomene korrigieren (so genannte „Lifestyle-Medikation“). Neben Kranken werden auch (noch) Gesunde vermehrt Arzneimittel konsumieren, um Erkrankungen vorzubeugen (Vorsorgemedikation). Zudem werden Wirkstoffe aller Qualitäten durch die steigende Freizügigkeit in den Handelswegen immer leichter zugänglich und immer weniger kontrolliert verteilt.

Diese Faktoren lassen darauf schließen, dass sowohl das Spektrum der Arzneimittel als auch deren Verbrauch signifikant anwachsen werden, denn von einem Verschwinden der bereits verfügbaren Arzneimittel ist nicht auszugehen. Es wird also nicht eine „Anpassung durch Ersatz“, sondern mit großer Sicherheit eine Ausweitung der Heilmittloptionen geben.

*Dr. Hans-Peter Böhm
Schering AG, Bergkamen*

Abfall- und Abwassermanagement bei der Arzneimittelproduktion der Schering AG



Nach dem Studium der Chemie trat Hans-Peter Böhm 1980 in die Schering AG ein. Dort arbeitete er in zahlreichen Funktionen in Qualitätskontrolle, Entwicklung und Wirkstoffproduktion in Berlin, Mexiko und Bergkamen. In der Wirkstoffproduktion war er zuletzt für die Herstellung von Wirkstoffen für Röntgenkontrastmittel verantwortlich. Seit 2005 leitet er das Kooperationsmanagement am Standort Bergkamen. Er ist Mitglied der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) und des Vorstands der Wasserchemischen Gesellschaft in der GDCh.

Die pharmazeutische Industrie – Wirkstoff- und Arzneimittelproduktion – ist reguliert wie nur wenige andere Bereiche. Sie unterliegt Hunderten von Gesetzen und Verordnungen. Die Einhaltung aller Regelungen wird laufend rigoros überprüft, sowohl intern als auch durch nationale und internationale Behörden, aber auch von Kunden. Unter den kritischen Augen der deutschen Medien kann auf diesem Markt nur bestehen, wer sich strikt an diese Vorschriften hält.

Über diese gesetzlichen Auflagen hinaus ist die pharmazeutische Industrie aber auch ihrem Selbstverständnis nach in besonderem Maße dem Leben und der Umwelt verpflichtet. Deswegen haben zahlreiche Firmen Nachhaltigkeit in ihre Unternehmensziele aufgenommen. Die Umsetzung dieser Willenserklärung in die Praxis wird belegt durch die Zertifizierung nach ISO 14001 und /oder die Validierung nach EMAS (EG Öko Audit).

Um Belastungen für die Umwelt zu vermeiden, haben alle großen Hersteller beträchtliche Investitionen getätigt. Technologisch optimale Lösungen zur Abluft- und Abwasserbehandlung werden in Abstimmung mit den Aufsichtsbehörden realisiert; in seltenen Ausnahmefällen sogar öffentlich gefördert. Der Erfolg ist messbar: Aus der Wirkstoff- und Arzneimittelherstellung werden inzwischen umweltrelevante Stoffe nicht mehr oder nur noch in deutlich unter der genehmigten Obergrenze liegenden Konzentration abgegeben, so dass eine Beeinträchtigung von Gewässern praktisch vollständig vermieden werden kann.

Für die Vermeidung der Einleitung von Wirkstoffen in das Abwasser sind dabei grundsätzlich firmenspezifische Lösungen erforderlich; bei der

umweltverträglichen Abfallentsorgung (Verbrennung oder Deponierung) ist häufig eine Kooperation mit spezialisierten Entsorgungsunternehmen die wirtschaftlichere Lösung.

Nicht unerwähnt bleiben soll eine weitere Motivation für das systematische „Abdichten“ von Produktionsanlagen: Die allgemeine Preissteigerung von Rohstoffen zwingt die Hersteller, wenn irgend möglich, wertstoffhaltige Abfälle zurückzuhalten und aufzuarbeiten. Die Jodrückgewinnung aus Abfällen der Röntgenkontrastmittelproduktion ist dafür ein prominentes Beispiel.

*Prof. Dr. med. Christiane Höller
Bayerisches Landesamt für Gesundheit
und Lebensmittelsicherheit, Oberschleißheim*

Pro & Contra des Einsatzes von Antibiotika in der Krankenhaushygiene



Die Medizinerin war nach dem Studium am Institut für Hygiene und Umweltmedizin in Kiel tätig, zuletzt als Leiterin des Wasserlabors und kommissarische Direktorin des Instituts. 2003 wechselte sie ans Bayerische Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, wo sie als Abteilungsleiterin für den Bereich „Hygiene“ verantwortlich ist. Christiane Höller ist u.a. Mitglied in der Deutschen Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie (DGHM), der Deutschen Gesellschaft für Krankenhaushygiene und der American Society for Microbiology (ASM). Sie ist Leiterin des Forschungsprojektes „Verdriftung von kontaminiertem Süßwasser an Meeresbadestellen“ und Mitglied des Expertenausschuss „Badegewässerqualität“ der EU.

Die Entdeckung des Penicillins und anderer Antibiotika wie die Sulfonamide in der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts hat die Medizin revolutioniert: Gefürchtete Erkrankungen wie die Syphilis, das Kindbettfieber oder die Lungenentzündung wurden plötzlich behandelbar. Infektionen ließen sich gezielt therapieren und Operationen wagen, die vorher mit zu vielen Risiken verbunden waren.

Die Zeiten, als man glaubte, mit der Gabe von Antibiotika alle Probleme lösen zu können, sind allerdings schon lange vorbei. Denn der äußerst großzügige Einsatz der Antiinfektiva hatte nicht nur positive Auswirkungen. Es zeigte sich bereits früh, dass Krankheitserreger Antibiotikaresistenzen entwickeln, die zur Herstellung immer neuer antibiotisch wirkender Substanzen zwingen. Inzwischen hat sich das Problem der Mehrfachresistenzen zur größten Herausforderung auf dem Gebiet der Krankenhaushygiene ausgewachsen.

So hat beispielsweise die Verbreitung von extrem resistenten Bakterienstämmen wie die MRSA (Methicillin resistente *Staphylococcus aureus*-Stämme) in einigen Ländern in den letzten Jahren dramatisch zugenommen. Diese Multiresistenzen machen es zunehmend schwierig, für infizierte Patienten noch geeignete Alternativantibiotika zu finden. Außerdem verursachen sie mittlerweile beachtliche Kosten für die Krankenhäuser.

Durch den Einsatz von Antibiotika änderte sich im Laufe der Jahre nicht nur das Resistenzspektrum von Bakterien, sondern auch die Art der Erreger, die hauptsächlich für Krankenhausinfektionen verantwortlich sind. Eitererreger oder Erreger von Lungenentzündung wie *Streptococcus pyogenes* und Pneumokokken, die noch in den vierziger Jahren des letzten Jahrhunderts die Hauptverursacher von Krankenhausinfektionen waren, wurden schnell von *Staphylococcus aureus* verdrängt. Nicht nur durch die Art der Antibiotikagabe, auch durch andere Maßnahmen traten dann Problemkeime wie *Pseudomonas aeruginosa* in den Vordergrund. Dieser stete Wechsel in der Bedeutsamkeit einzelner Bakterienarten für das Infektionsgeschehen in Krankenhäusern hält auch heute noch an.

Obwohl Antibiotika unverzichtbar sind, hat man sich schon früh kritisch mit ihrem Einsatz beschäftigt. Es ist davon auszugehen, dass ein nicht unerheblicher Anteil der Antibiotika falsch oder unnötigerweise verschrieben wird. Daher gilt es, die Indikation für die Durchführung einer Antibiotikatherapie, die Wahl der richtigen Antibiotika, die Dauer der Therapie und die Auswirkungen auf den Patienten gründlicher zu berücksichtigen. Hier besteht ein großes Verbesserungspotential.

Dr. Tamara Grummt
Umweltbundesamt, Bad Elster

Arzneimittelrückstände in Gewässern – eine Herausforderung für die Toxikologie



Tamara Grummt studierte Biologie an der Universität Halle-Wittenberg und ist Fachwissenschaftler für Humangenetik. Seit mehr als 20 Jahren auf dem Gebiet der Umweltmutagenität tätig leitet sie heute das Fachgebiet „Toxikologie des Trink- und Badebeckenwassers“ im Umweltbundesamt, Dienstgebäude Bad Elster. Schwerpunktmäßig befasst sie sich mit der Abschätzung des Krebsrisikos durch Umweltschadstoffe für den Menschen und mit der toxikologischen Bewertung unerwünschter Wirkungen im Trink- und Badewasser. Tamara Grummt ist Mitglied mehrerer wissenschaftlicher Gesellschaften, u. a. der Gesellschaft für Humangenetik und im Vorstand der Wasserchemischen Gesellschaft.

Die Entwicklungen der instrumentellen Analytik führen dazu, dass immer mehr „neue“ Umweltschadstoffe in immer niedrigeren Konzentrationsbereichen und immer kürzeren Analysenzeiten nachgewiesen werden. Aus wissenschaftlicher Sicht liegen zwar inzwischen genügend Erkenntnisse über Arzneimittel und deren Abbauprodukte mit problematischen Eigenschaften vor, um auf Handlungsbedarf hinzuweisen. Zugleich besteht aber weitgehend Unkenntnis über den Zeitraum, der zwischen dem Kontakt des menschlichen Organismus mit solchen Substanzen und dem Ausbruch umweltbedingter Krankheiten vergeht, sowie über die Anzahl der Personen, die tatsächlich von möglichen schädlichen Wirkungen betroffen sind. Für die neuen Umweltschadstoffe überwiegt also derzeit noch das toxikologische Nichtwissen.

Die Besonderheit bei der toxikologischen Bewertung von Arzneimittelrückständen besteht darin, dass die therapeutische Wirkung eines Arzneimittels im menschlichen Körper keine Rückschlüsse auf die toxische Langzeitwirkung von Arzneimittelrückständen in der Umwelt zulässt. Die Konzentration von Arzneimittelrückständen, denen der menschliche Organismus ausgesetzt ist, liegt nach bisherigen Erkenntnissen im Niedrigdosis-Bereich. Für die umweltbezogene Risikobewertung von Arzneimittelrückständen reichen daher die Prüf- und Zulassungsverfahren bei der Arzneimittelproduktion nicht aus. Die Prüfstrategien, die zunächst in der Chemikalien- und Arzneimittelprüfung entwickelt wurden, müssen an die Erfassung und Bewertung der neuen Umweltschadstoffe angepasst werden. Dabei sollte es weniger um das

toxikologische Risiko einer Substanz, als vielmehr um ihre toxikologische Sicherheit gehen.

Am Beispiel von Arzneimittelabbauprodukten (Metabolit) wird deutlich, dass verschiedene physiologische Reaktionsabfolgen letztlich zu nachweisbaren toxischen Effekten führen. Arzneimittelmetabolite zeigen etwa tumorpromovierende Wirkungen, die Teil von Wirkkaskaden sind. Derzeit werden diese Mechanismen als „low risk“-Mechanismen eingestuft. Inwieweit diese Annahme Bestand haben kann, wird sich durch die systematische Charakterisierung dieser Prozesse zeigen.

Epidemiologische Beobachtungen führten zu der Hypothese, dass die Entwicklung von chronischen Erkrankungen nicht nur mit genetischen Faktoren und dem Lebensstil im Alter erklärt werden kann. Vielmehr werden Umweltfaktoren, die in frühen und empfindlichen Entwicklungsphasen auf den menschlichen Organismus einwirken, dafür mit verantwortlich gemacht. Die Frage, wie wir umweltbedingten Krankheiten begegnen können – insbesondere jenen, die eine Latenzzeit von mehr als 20 Jahren haben –, ist im Falle der Arzneimittelrückstände relativ leicht zu beantworten: Eine effiziente Strategie ist die Prävention, die einen anderen Umgang der Bevölkerung mit Medikamenten zum Ziel hat, um vermeidbare Umwelteinträge von Arzneimittelrückständen und unnötige Expositionen zu verringern und möglichst zu unterbinden.

PD. Dr. Thomas Ternes
Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz

Belastung der aquatischen Umwelt mit Arzneistoffen: Potentielle Wege der Elimination



Nach dem Studium der Chemie an der Johannes Gutenberg Universität Mainz promovierte Thomas Ternes 1993 in Mainz mit dem Schwerpunkt Analytische Chemie. Seit Mai 2003 ist er an der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Koblenz für die Analytik, den Verbleib und die Entfernung von Schadstoffen in Umweltmatrizes verantwortlich. In mehreren Forschungsprojekten, unter anderem als Koordinator des EU-Projektes POSEIDON, arbeitete er seit 1995 intensiv an der Entwicklung analytischer Methoden sowie der Eliminierung von Arzneimitteln und anderen organischen Schadstoffen in der Abwasserreinigung und der Trinkwasseraufbereitung unter Berücksichtigung potenzieller Umweltgefährdungen. Habilitation (2001) zu dem Thema: Rückstände an Arzneimitteln, Diagnostika und Antiseptika in Abwasser, Flüssen und Grundwasser – eine neue Herausforderung für die Wasserwirtschaft.

Aufgrund der verbesserten chemischen Analytik werden in Kläranlagen und Gewässern immer mehr Pharmazeutika und hormonaktive Stoffe nachgewiesen. Bereits zwischen 1995 und 1999 konnten in deutschen Kläranlagenabläufen 36 von 55 analysierten Arzneistoffen und 5 von 9 pharmazeutischen Reststoffen (Metaboliten) nachgewiesen werden. Die höchste Konzentration der Arzneistoffe wurde mit über 6 Millionstel Gramm in einem Liter ($\mu\text{g}/\text{L}$) für das Antiepileptikum Carbamazepin ermittelt. In 40 untersuchten deutschen Fließgewässern waren 31 Pharmaka und 5 Metabolite in zumindest einer Probe nachweisbar. Spitzenwerte von über $1 \mu\text{g}/\text{L}$ waren dabei keine Seltenheit.

Die Belastung der Fließgewässer steht offenbar in direktem Zusammenhang mit der Menge des eingeleiteten kommunalen Abwassers. Bei größeren Fließgewässern wie Rhein oder Main ist eine weitere Beeinträchtigung durch industrielle Abwässer von Arzneimittelproduzenten nicht ausgeschlossen.

Bisher werden die Pharmazeutika in der Kläranlage nur teilweise entfernt. Das wichtigste Verfahren ist die Sorption (Bindung) an den Klärschlamm und die biologische Transformation, etwa durch die gezielte mikrobielle Produktion von Enzymen. Die meisten Pharmazeutika und Röntgenkontrastmittel können aber durch diese Verfahren nicht entfernt werden. Zur Eliminierung dieser Substanzen sind weitere Reinigungsstufen bei der kommunalen Abwasserreinigung erforderlich. Bei kritischen Fällen empfiehlt sich die

Ozonung des Ablaufs, da diese mit vertretbaren Kosten verbunden ist. Andere Maßnahmen setzen bereits an der Quelle an und sorgen dafür, dass Arzneistoffe erst gar nicht in die Kläranlagen und Gewässer geraten. Da Arzneimittel und Hormone zum größten Teil über den Urin ausgeschieden werden, steht hier – nach dem Vorbild der Mülltrennung – die Urinseparation im Vordergrund. Auch die Einführung des Umweltlabels bei Medikamenten empfiehlt sich als nachhaltige Maßnahme zur Vermeidung der Medikamentenbelastung des Abwassers.

PD Dr. Gerd Hamscher
Institut für Lebensmitteltoxikologie und Chemische Analytik,
Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover

Tierarzneimittel in der Umwelt: Vorkommen, Verhalten, Risiken



Gerd Hamscher studierte Lebensmittelchemie an der TU Kaiserslautern, promovierte an der Universität Bonn und wurde nach seiner Habilitation an der Tierärztlichen Hochschule Hannover zum Privatdozenten für Lebensmitteltoxikologie ernannt. Schwerpunkte seiner Forschung sind die Analytik von Tierarzneimitteln und toxikologisch relevanten Substanzen in Lebensmitteln, biologischen Materialien und in der Umwelt. Er hat grundlegende Arbeiten zu Vorkommen und Verhalten von Veterinärantibiotika in Wirtschaftsdüngern, Böden, Grundwasser und Stallstäuben publiziert.

Tierarzneimittel geraten in erster Linie durch Gülle und Tiermist in den Boden und dringen über Sickerwasser ins Grundwasser vor. Vor allem handelt es sich dabei um antibiotisch wirksame Stoffe wie Tetracycline und Sulfonamide.

Die höchsten Tierarzneimittelkonzentrationen finden sich in der Gülle und im Stallstaub (mg/kg-Bereich), in Oberflächen- und Grundwasser kommen lediglich Spurenkonzentrationen (Mikrogramm/Liter-Bereich) vor. In landwirtschaftlichen Nutzflächen wurden über viele Jahre Tetracycline in Konzentrationen von mehreren Hundert Mikrogramm ($\mu\text{g}/\text{kg}$) gemessen. Durch die wiederholte Güllezufuhr im Frühjahr wird über Jahre eine relativ konstante Tetracyclin-Konzentration im Boden erreicht, da der Abbau bzw. die Elimination die Neuzufuhr nicht übersteigt. Eine Verlagerung dieser Substanzen in das Grundwasser konnte allerdings erstmals nach vierjähriger Studiendauer nachgewiesen werden. Anders im Falle des Sulfamethazins, das sich an der gleichen Fläche im Oberboden in wesentlich geringeren Konzentrationen von wenigen Mikrogramm pro Kilogramm fand, aber trotzdem kontinuierlich über mehrere Jahre in oberflächennahes Grundwasser eingetragen wurde.

Die gemessenen Konzentrationen lassen keine akuten toxischen Effekte, z. B. auf Wassermikroorganismen, erwarten. Ob die Antibiotikaeinträge in Boden und Grundwasser, obwohl sie weit unter dem therapeutischen Konzentrationsbereich liegen, dennoch zu einer Resistenzbildung bei Bodenbakterien beitragen oder mikrobiologische Lebensgemeinschaften nachhaltig verändern können, lässt sich zurzeit noch nicht mit Sicherheit beurteilen. Aktuelle Studien aus Deutschland und den USA zeigen immerhin, dass eine Aufnahme von Antibiotika über Nutzpflanzen prinzipiell möglich zu sein scheint. Im Gegensatz zu den

Rückständen von Humanarzneimitteln in Gewässern und von Tierarzneimitteln in Böden stellt der Eintrag von Antibiotika über Stallstäube möglicherweise ein unmittelbares Risiko für den Menschen dar. Das betrifft vor allem Landwirte, die diesen Stoffen dauerhaft ausgesetzt sind.

Zur Reduzierung des Tierarzneimittleintrages in die Umwelt sind verschiedene Möglichkeiten vorhanden. Dazu gehören Leitlinien über die richtige Dosierung und Therapiedauer, das EU-weite Verbot antibiotischer Leistungsförderer in der Tiermast und die Optimierung von Haltungsbedingungen, um für die Gesundheit der Tiere zu sorgen. Diese Möglichkeiten sollten im Sinne eines vorbeugenden Umwelt-, Arbeits- und Verbraucherschutzes umgesetzt werden.

PD Dr. Karl Fent
Institut für Ecopreneurship, Hochschule für Life Sciences
Fachhochschule Nordwestschweiz, Muttenz

Ökotoxikologische Wirkungen von Pharmazeutikarückständen auf aquatische Organismen



Seit über 20 Jahren erforscht Karl Fent die ökotoxikologischen Wirkungen von Umweltchemikalien auf Gewässerorganismen. An der Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Life Sciences, Basel, leitet er die Gruppe Umwelttoxikologie. Daneben ist er seit 1996 Privatdozent für Ökotoxikologie an der ETH Zürich und seit 1990 Dozent an der Universität Zürich. Er promovierte in Neurobiologie an der Universität Zürich und forschte anschließend als Toxikologe am Institut für Toxikologie der ETH Zürich. Ein Forschungsjahr führte ihn an die Woods Hole Oceanographic Institution (USA). Gegenwärtig untersucht er mit seiner Gruppe die Wirkungen von UV-absorbierenden Chemikalien und Pharmazeutikarückständen auf Wassertiere.

Über mögliche schädliche Auswirkungen der Pharmazeutikarückstände auf Gewässer und die in ihnen lebenden Organismen ist bisher nur wenig bekannt. Beobachtungen liegen inzwischen bei Rückständen von weiblichen Geschlechtshormonen aus der Empfängnisverhütungspille und Menopause-Präparaten vor. So führen natürliche Steroidhormone im Abwasser und das synthetische Hormon 17α -Ethinylestradiol zu Verweiblichung bei jungen und männlichen Fischen. Das männliche Steroidhormon Trenbolon, das in den USA auf Rinderfarmen verabreicht wird, führt zur Vermännlichung von Fischen in angrenzenden Bächen. Zu einer weiteren Umweltauswirkung, die auf Pharmazeutikarückstände zurückgeht, gehört die Entwicklung von Antibiotika-Resistenz in Kläranlagen und ihrer Umgebung.

Bisher sind einige wenige Arzneimittel auf ihre akute Toxizität für Wasserorganismen untersucht worden. Die publizierten Daten lassen den Schluss zu, dass akute Effekte auf die Umwelt nicht zu erwarten sind, es sei denn bei Unfällen. Weitgehend unerforscht sind hingegen die chronische Toxizität und die Langzeitwirkungen von Pharmazeutika auf Wasser- und Bodenorganismen. Auch die Wirkung von Mischungen ist kaum bekannt, obwohl die Stoffe normalerweise in dieser Form in der Umwelt vorkommen. Die wenigen chronischen Toxizitätsdaten bei Algen, Zooplankton und Fischen zeigen, dass die gemessenen Effekte bei Konzentrationen auftreten, die etwa

zwei Größenordnungen höher liegen als die maximal im geklärten Abwasser gefundenen Werte. Ausnahmen sind Diclofenac, Propranolol und Fluoxetin, bei denen sich chronische Effekte schon bei Konzentrationen zeigen, die im Abwasser gefunden wurden. Allerdings sind die klassischen Toxizitätsstudien nicht unbedingt die geeignete Methode für eine Risikoanalyse, die auch die chronischen Wirkungen von Arzneimittelrückständen berücksichtigt. Sie richten sich nicht gezielt auf die Untersuchung der Wirkungsweise der Substanzen und Zielorgane der Organismen. Zudem werden nur einige wenige Spezies untersucht.

Unsere Untersuchungen haben zum Ziel, schnelle und aussagekräftige In-vitro-Analysesysteme zu entwickeln, mit deren Hilfe die akute und chronische Toxizität von Pharmazeutika ohne Tierversuche abgeschätzt werden kann.

*Dr. Harald Irmer und Dr. Hans-Dieter Stock
Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen*

Arzneimittelrückstände und Gewässerschutz



Harald Irmer ist seit 1994 Präsident des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen in Essen, das sich als technisch-wissenschaftliche Behörde mit dem technischen Umweltschutz in Wasser, Boden, Luft, Abfall und Altlasten in NRW befasst. Nach dem Studium des Bauingenieurwesens an der TH Darmstadt mit Schwerpunkt Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Stadtbauwesen war Irmer wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TH Darmstadt und beim Rat von Sachverständigen für Umweltfragen des BMI. Ab 1983 war er Abteilungsleiter am Institut für Wasser, Boden- und Luftthygiene des Bundesgesundheitsamtes Berlin, Abteilung Abwasser- und Umwelthygiene beim Gewässerschutz.

Dr. Irmer musste wegen dringender dienstlichen Aufgaben seine Teilnahme an dem Kolloquium absagen. Dankenswerterweise hat es Dr. Hans-Dieter Stock übernommen, den Vortrag zu demselben Thema zu halten. Dr. Stock ist Ko-Autor des gleichnamigen Beitrags im Tagungsband. Das weiter unten folgende Statement wurde von Dr. Irmer verfasst.



Dr. Hans-Dieter Stock ist seit 1994 im Landesumweltamt tätig in den Bereichen Abwasseranalytik und Abwassertechnik. Nach seinem Studium der Chemie an der Universität Münster mit dem Schwerpunkt Physikalische Chemie fertigte er seine Dissertation am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr über metallorganische Reaktionen an. Seit 1978 ist er im Bereich der Verbesserung der Gewässergüte, der Wasseranalytik und der Abwassertechnik als Abteilungsleiter bzw. Fachbereichsleiter tätig. Daneben hat er Lehraufträge an den Universitäten Duisburg, Düsseldorf und Wuppertal erhalten.

In den letzten Jahren mehren sich die Erkenntnisse darüber, auf welchem Wege Arzneimittelrückstände in die Umwelt gelangen und wie mögliche Umweltschädigungen zu verringern oder zu vermeiden sind. Dabei ergeben sich für Human- und Veterinärarzneimittel – für die je eigene Zulassungsbedingungen und rechtliche Regelungen gelten – unterschiedliche Möglichkeiten, schadhafte Auswirkungen auf den Boden und die Gewässer zu begrenzen.

Veterinärarzneimittel-Rückstände können direkt durch Ausscheidung von Weidetieren oder über Wirtschaftsdünger (Gülle, Mist, Jauche) in Böden und weiter ins Grundwasser gelangen oder durch oberflächliche Abschwemmung und Drainagen in Oberflächengewässer eindringen. Ein Teil der in den Oberflächengewässern enthaltenen Arzneimittelrückstände kann bei Hochwasser in Überschwemmungsgebiete eingetragen werden und so Böden und das Grundwasser belasten.

Humanarzneimittel geraten vor allem aus drei Quellen in die Gewässer: Abwasser aus der Produktion, Abwasser aus Haushalten oder aus Krankenhäusern und in speziellen Fällen Sickerwasser aus Deponien. In allen Fällen werden sie über eine Kläranlage ins Gewässer eingeleitet.

Wie kann man Begrenzungen der Einträge ins Gewässer erreichen? Zunächst könnte dies schnell geschehen, indem in der Abwasserverordnung ein entsprechender Anhang für die Produktion der Pharmaka eingeführt oder ein bestehender Anhang um diese Sparte erweitert wird, denn Arzneimittelwirkstoffe fallen bisher nicht unter das Chemikalienrecht und werden auch nicht von wasserrechtlichen Regelungen erfasst. Weiterhin kann man beim Deponiesickerwasser als Einzelfall ebenfalls Regelungen treffen, doch damit erschöpfen sich auch schon die derzeitigen rechtlichen Instrumente. Für die Humanarzneimittel wären eine Verminderung der Verwendungsmengen sowie die Verwendung von bedarfsangepassten Arzneimittelpackungen wünschenswert.

Bei den Veterinärarzneimitteln stehen Ansätze im Vordergrund, die auf eine Vermeidung oder Verminderung des Einsatzes der Wirkstoffe abzielen. Bereits heute ist eine Begrenzung der Anwendung dann möglich, wenn die Umweltbeeinträchtigungen, verglichen mit dem Nutzen des Wirkstoffs, unverhältnismäßig sind. Überdies sind Nutzungseinschränkungen für Trinkwasserentnahmen aus belasteten Gewässern möglich.

*PD Dr. Thomas Heberer
Bundesinstitut für Risikobewertung, FG Berlin
Institut für Lebensmittelchemie, Technische Universität Berlin*

Verhalten von Arzneimittelrückständen bei der Abwasserreinigung



Thomas Heberer studierte Lebensmittelchemie an der Technischen Universität Berlin und promovierte 1995 mit dem Schwerpunkt Rückstandsanalytik organischer Spurenstoffe in Umweltproben. Habilitation (2003) zum Thema: „Neuartige organische Umweltkontaminanten im Wasserkreislauf urbaner Räume“. Seit April 2004 ist er als stellvertretender Leiter der Fachgruppe „Rückstände von Pestiziden“ und (seit 2006) der Fachgruppe „Rückstände von Arzneimitteln“ am Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) in Berlin tätig. Zuvor beschäftigt er sich in interdisziplinären Forschungsprojekten und in zahlreichen Publikationen intensiv mit dem Vorkommen, dem Verbleib und der Entfernbarkeit von Arzneimittelrückständen und verwandten Stoffen im urbanen Wasserkreislauf sowie mit deren Human- bzw. Umweltrisikobewertung.

In den letzten Jahren wurden weltweit mehr als 100 Substanzen im Abwasser und angrenzenden Oberflächenwasser nachgewiesen, die bei der konventionellen Abwasserreinigung nicht oder nur in geringen Mengen entfernt werden. Einige Verbindungen, wie z. B. das Schmerzmittel Paracetamol oder die in Aspirin enthaltene Acetylsalicylsäure, sind in den Kläranlagen leicht abbaubar oder binden sich an Klärschlamm. Grundsätzlich sind kommunale Kläranlagen jedoch nicht in der Lage und auch nicht dafür bestimmt, Spurenstoffe in Konzentrationen von einigen Milliardstel Gramm (ng) oder Millionstel Gramm (μg) je Liter zu entfernen. Primäres Ziel der Abwasserreinigung ist die Entfernung oder Verminderung von pathogenen Keimen bzw. von organischen und anorganischen Hauptbestandteilen. Die Entfernung organischer Spurenstoffe ist bestenfalls ein positiver Nebeneffekt.

Die physiko-chemischen Eigenschaften der Substanzen, wie etwa ihre Wasserlöslichkeit, entscheiden darüber, ob sie in den traditionellen Kläranlagen mit mechanisch-biologischen Reinigungsstufen entfernt werden können. Nicht wasserlösliche Verbindungen binden sich leicht an Klärschlamm. Ein großer Teil der Pharmarückstände ist allerdings gut wasserlöslich und lässt sich durch die Sorption am Klärschlamm kaum beseitigen. Ob diese Verbindungen dennoch im nennenswerten Umfang abgebaut werden, hängt von der eingesetzten Klärwerkstechnologie und den jeweiligen Betriebsbedingungen

ab, wie etwa der Verweilzeit des Abwassers in der Kläranlage bzw. dem Alter des Klärschlammes. Die Verwendung moderner Kläranlagen mit nitrifizierender und denitrifizierender biologischer Klärstufe ermöglicht etwa den weitgehenden Abbau des Schmerzmittels Ibuprofen. Aber auch äußere Bedingungen wie die Temperatur oder Wetterverhältnisse haben bei einigen Verbindungen einen deutlichen Einfluss auf den Abbau der Verbindungen. So führte etwa ein Starkregenereignis dazu, dass die Ablaufkonzentrationen von Ibuprofen von weniger als einem ng /L auf bis zu 630 ng /L anstiegen.

In vielen Fällen lässt sich durch die Verwendung zusätzlicher Reinigungsstufen Abhilfe schaffen. Dazu zählen die Membranfiltration, die Aktivkohlefilterung oder chemische Abwasserbehandlungsmethoden wie die Ozonung. Sie ermöglichen die Entfernung oder zumindest eine weitergehende Verringerung der Arzneimittelrückstände, die bei der konventionellen Abwasserreinigung nicht abgebaut werden. Allerdings sind diese zusätzlichen Reinigungsstufen mit hohen Material- und Energiekosten verbunden.

PD Dr. Christian Zwiener

Engler-Bunte-Institut, Bereich Wasserchemie, Universität Karlsruhe (TH)

Verhalten von Arzneimittelrückständen bei der (Trink-) Wasseraufbereitung



Der promovierte Diplom-Chemiker ist seit 2005 Privatdozent am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe. Christian Zwiener lehrt in den Fächern Chemie, Wasserchemie und Wassertechnologie. Seine Forschungsinteressen liegen auf dem Gebiet der Analytik und des Verhaltens von organischen Spurenstoffen in der aquatischen Umwelt und in der Wassertechnologie. Er untersucht dabei vor allem Arzneimittelrückstände, Desinfektionsnebenprodukte und organische Kontaminanten im Untergrund. Im Jahre 2001 wurde er mit dem Forschungspreis der Wasserchemischen Gesellschaft in der GDCh ausgezeichnet.

Das Trinkwasser wird in Deutschland zu etwa zwei Dritteln aus Grundwässern und zu circa einem Drittel aus Oberflächengewässern gewonnen.

Arzneimittelrückstände, die im Prozess der Trinkwasseraufbereitung nicht komplett herausgefiltert werden, können bis ins Trinkwasser gelangen.

Zu den bisher am häufigsten nachgewiesenen Spurenstoffen in deutschen Gewässern zählen iodidierte Röntgenkontrastmittel, der Entzündungshemmer Diclofenac, das Antiepilektikum Carbamazepin, der Lipidsenker Bezafibrat sowie Antibiotika wie Sulfamethoxazol und Erythromycin. In Flüssen wurden Konzentrationen gefunden (über 0,5 Millionstel Gramm ($\mu\text{g}/\text{L}$) pro Liter), die die Belastung mit Pflanzenschutzmitteln übersteigen. Als vorsorgliche Konzentrationsobergrenze für Trinkwasser im Sinne eines „pragmatischen gesundheitlichen Orientierungswertes“ empfiehlt die Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit und soziale Sicherheit am Umweltbundesamt den Wert von $0,1 \mu\text{g}/\text{L}$. In Grundwässern konnten Arzneimittelrückstände in Konzentrationen über diesem Wert nur an solchen Messstellen nachgewiesen werden, die durch belastete Oberflächenwässer beeinflusst waren. Hohe Konzentrationen an Arzneimittelrückständen bis weit über $100 \mu\text{g}/\text{L}$ zeigten sich hingegen in Deponiesickerwässern, die im Einzelfall das Grundwasser beeinflussen können.

Um abschätzen zu können, welches Risiko Arzneimittelrückstände im Wasser für den Menschen darstellen, müssen Erkenntnisse darüber erlangt werden, in welchem Maße wir solchen Substanzen ausgesetzt sind. Das wiederum erfordert eine Untersuchung des Verhaltens von Wirkstoffen in den einzelnen

Verfahrensschritten der Trinkwasseraufbereitung – Ozonung, Flockung, Filtration, Adsorption an Aktivkohle und Chlorung.

Im Allgemeinen zeichnen sich die in Gewässern und im Trinkwasser auftretenden Arzneimittelrückstände durch chemische Stabilität, hohe Wasserlöslichkeit, geringe Sorptionsfähigkeit und geringe biologische Abbaubarkeit aus. Daher lässt die konventionelle Aufbereitung durch Prozesse wie Flockung, Sandfiltration und Chlorung keine ausreichende Elimination solcher Substanzen erwarten. Entscheidende Verbesserungen ergeben sich durch die Zugabe von Pulveraktivkohle oder die Oxidation mit Ozon. Neben konventionellen Verfahren der Wasseraufbereitung sollen auch die Möglichkeiten neuer Verfahren und Technologien betrachtet werden.

Prof. Dr. Dr. h. c. Günter Stock

Präsident der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften

Vom Verhältnis des Nutzens zum Risiko – Arzneimittel als Beispiel



Seit Anfang 2006 ist er Präsident der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften. Günter Stock studierte in Heidelberg Medizin und hatte an der dortigen Universität eine Professur für Vegetative Physiologie inne, bevor er 1983 zur Schering AG wechselte. Bei Schering begann Günter Stock zunächst als Leiter der Herz-Kreislauf-Pharmakologie und wurde 1989 in den Vorstand berufen, wo er unter anderem für die Unternehmensfunktion Forschung zuständig war.

Die Anwendung von Arzneimitteln setzt grundsätzlich eine sorgfältige Abschätzung von Nutzen und Risiko voraus. Zu diesen rein medizinischen Kriterien sind neuerdings auch noch andere Abwägungsprozesse hinzugekommen, die vor allem das Verhältnis von Kosten und Nutzen betreffen. Diese abwägenden analytischen Prozesse sind abhängig vom jeweiligen Forschungsstand in den unterschiedlichsten Disziplinen. Und sie erfordern Methoden, die strengen wissenschaftlichen Ansprüchen genügen.

Die Risikoabschätzung von Medikamenten erstreckt sich inzwischen nicht nur auf die direkten Wirkungen im menschlichen Organismus, sondern auch auf die Frage, inwieweit Medikamente bzw. Ausscheidungsprodukte von Medikamenten nach Stoffumbau (Metabolisierung) durch den Organismus zu Umweltbelastungen, insbesondere im Abwasser, führen. Dies bezieht sich primär auf solche Rückstände, die durch die üblichen Klärmethoden nicht beseitigt werden.

Wir haben es hier mit einem noch recht neuen Forschungsgebiet zu tun, das nähere Untersuchungen der Metabolisierung der Substanzen im Organismus erfordert, aber auch der weiteren Abbau- und Verteilungsprozesse in Abwasser- und Oberflächenwasser sowie im Boden. Ein entscheidender Faktor ist dabei der tatsächlich im Grundwasser erscheinende Anteil an großteils metabolisierten Stoffen sowie die Frage nach deren Wirkungen und Auswirkungen. Dieses neue Forschungsgebiet wurde zunächst durch die Entwicklung empfindlicher Analysemethoden stark befördert; hinzu trat der Nachweis möglicher Gefahren für Umweltorganismen durch entsprechende ökotoxikologische Methoden und Versuche. Durch diese, sowie weiter oben angedeutete zusätzliche Aspekte wird die Nutzen-Risiko-Bewertung des Medikamenten-Einsatzes um ein Vielfaches

komplexer und läuft bei eindimensionaler Betrachtung permanent Gefahr, zu Fehleinschätzungen zu führen.

Ich sehe die zukünftige zentrale Aufgabe darin, Methoden zu entwickeln, die es uns erlauben, die unterschiedlichen Aspekte des Nutzens und der Risiken in vernünftiger Weise so miteinander zu verknüpfen, dass wir zu einer fairen Risiko-Nutzen-Abschätzung kommen. Darüber hinaus müssen wir vor allem genügend Instrumente schaffen, um die Risiken – d. h. sowohl medizinische als auch Umweltrisiken – gut gegeneinander abzuwägen.

In meinem Beitrag geht es mir deswegen darum, insbesondere diese Vielfalt der zunächst noch getrennt vorgenommenen Risiko-Nutzen-Abwägungen zu erläutern und einer ausgewogenen Beurteilung zugänglich zu machen. Neben einer Reihe von Beispielen aus dem Bereich der medizinischen Nutzen-Risiko-Abwägung werde ich mich insbesondere mit dem Thema Kontrastmittel für bildgebende Diagnostik und dem Thema Östrogene auseinandersetzen.