

Beitragsserie Arzneimittelwirkstoffe im Wasserkreislauf

Vorwort – Von der Problem- zur Lösungsperspektive

Florian Keil

Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH, Hamburger Allee 45, D-60486 Frankfurt/M. (keil@isoe.de)

DOI: <http://dx.doi.org/10.1065/uwsf2008.03.244>

Die Umweltrelevanz von Arzneimitteln ist durch die umfangreichen Forschungsaktivitäten der vergangenen Jahre mittlerweile als etabliert zu betrachten. Nicht zuletzt in dieser Zeitschrift wurde in zahlreichen Arbeiten eindrucksvoll das ubiquitäre Vorkommen eines breiten Spektrums von Wirkstoffen in der aquatischen Umwelt beschrieben. Immer mehr Daten belegen zudem, dass mit dem verbreiteten Vorkommen der Stoffe auch adverse Effekte für aquatische Organismen sowohl auf der individuellen als auch auf der Populationsebene einhergehen. Auch wenn, wie in dieser Zeitschrift zuletzt von Dürr und Hollert (2007) zu Recht betont wird, das Maß an Nicht-Wissen und Unsicherheit nach wie vor hoch ist, lässt sich dennoch feststellen: Es liegt ausreichend Wissen vor, um aus Vorsorgegesichtspunkten neben der Problem- zunehmend eine Lösungsperspektive beim Thema Arzneimittelwirkstoffe im Wasserkreislauf einzunehmen.

Systematische Untersuchungen zu Handlungsmöglichkeiten fehlen jedoch bisher weitgehend. In diesem Schwerpunkt soll daher erstmals das Spektrum von Strategien zur Reduktion des Vorkommens von Arzneimittelwirkstoffen im Wasserkreislauf ausgelotet und im Hinblick auf Potenziale zur Problemlösung bewertet werden. Orientiert man sich am Lebenszyklus eines Arzneimittels lassen sich für die Erarbeitung von Problemlösungen drei Handlungsfelder unterscheiden: Arzneimittelentwicklung, Arzneimitteleinsatz und Abwasserbehandlung bzw. Trinkwasseraufbereitung. Die drei Beiträge des Schwerpunkts beschäftigen sich jeweils mit einem dieser Handlungsfelder. Die darin vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des transdisziplinären Forschungsprojekts 'start – Strategien zum Umgang mit Arzneimittelwirkstoffen im Trinkwasser' (<http://www.start-project.de>) erarbeitet.

Püttmann et al. (2008, Zusammenfassung s. S. 146) analysieren und bewerten in ihrem Beitrag erweiterte Verfahren der Abwasserbehandlung wie Aktivkohlefiltration, Ozonierung, Photooxidation und Membranfiltration im Hinblick auf ihre Wirksamkeit bei der Elimination von Arzneimittelwirkstoffen. Vor diesem Hintergrund diskutieren die Autoren das Lösungspotenzial einer Strategie, deren Grundprinzip es ist, die Stoffe möglichst vor dem Eintrag in das kommunale Abwasser zurückzuhalten. Deren wesentliche Elemente sind innovative, auf einer Trennung von Abwasserteilströmen basierende Sanitärkonzepte für Neubau-, Industrie und Gewerbegebiete sowie die separate Erfassung und Behandlung der potenziell stärker mit problematischen Wirkstoffen belasteten Abwässer von medizinischen Einrichtungen. Handlungsspielraum für die Umsetzung einer solchen nur langfristig wirksamen Strategie besteht dadurch, dass akute Gefährdungen des Schutzgutes Trinkwasser durch den verbreiteten Einsatz von Aktivkohlefiltration (teilweise gekoppelt mit Ozonierung) bei Wassergewinnungsanlagen, die flussbürtiges Rohwasser aufbereiten, weitgehend vermieden werden können.

Die demografische Entwicklung in Europa hin zu immer älteren Gesellschaften lässt in den kommenden Jahren einen signifikanten Anstieg des Arzneimittelverbrauchs erwarten. Das Problem einer Umweltbelastung mit Arzneimittelwirkstoffen wird sich also eher ver- als entschärfen. Anders als in anderen Produktbereichen spielen jedoch Umweltaspekte bisher bei Verschreibung oder Kauf, Gebrauch und Entsorgung kaum eine Rolle. Dabei liegt es bei-

spielsweise nahe, beim Vorliegen therapeutisch gleichwertiger Alternativen, den Wirkstoff mit der besseren biologischen Abbaubarkeit zu wählen. Welche Möglichkeiten es gibt, den Arzneimitteleinsatz ohne Qualitätsverlust bei Prävention und Therapie umweltfreundlicher zu gestalten, diskutieren Deffner und Götz in ihrem Beitrag (2008, Zusammenfassung s. S. 147). Da im Zweifelsfall die Regel 'Gesundheits- vor Umweltschutz' gilt, steht im Zentrum derartiger Überlegungen die Herstellung von Synergien mit gesellschaftlich überhin wünschenswerten Reformvorhaben im Gesundheitssystem.

Primäres Ziel bei der Arzneimittelentwicklung ist die Optimierung der Wirksamkeit eines Stoffes bei gleichzeitig möglichst geringen Nebenwirkungen. In der Regel wird dabei angenommen, dass die Anwendbarkeit eines Wirkstoffes seine generelle Stabilität voraussetzt, weshalb die meisten Arzneimittelwirkstoffe biologisch relativ schwer abbaubar sind. Kümmerer und Schramm zeigen in ihrem Beitrag (2008, Zusammenfassung s. S. 147), dass ein differenzierterer Blick auf den Faktor Stabilität Möglichkeiten eröffnet, durch ein gezieltes Moleküldesign bereits früh im Entwicklungsprozess sowohl die Wirksamkeit eines Stoffes beim Menschen als auch seine Abbaubarkeit in der Umwelt zu optimieren. Die Autoren diskutieren ausführlich, welche Potenziale im 'Benign by Design' liegen und wie die Umsetzung einer solchen Innovationsstrategie in der pharmazeutischen Industrie befördert werden kann.

Ein nachhaltiger Beitrag zur Lösung des Problems Arzneimittelwirkstoffe im Wasserkreislauf kann nicht in einem dieser Handlungsfelder allein liegen. Erforderlich ist vielmehr eine integrierte Strategie, die unterschiedlichen Akteuren in allen drei Handlungsfeldern ein kooperatives Vorgehen bei der Problembewältigung ermöglicht. Der *start*-Praxisdialog mit Expertinnen und Experten aus pharmazeutischer Industrie, dem Gesundheitswesen, der Wasserwirtschaft und den Behörden hat verdeutlicht, dass dabei das Grundprinzip lauten muss: geteilte Verantwortlichkeiten bei individuellen Zielen. Dies bedeutet, Transparenz hinsichtlich der Handlungsmöglichkeiten und Handlungsbereitschaft des jeweils 'Anderen' herzustellen. Zudem verweist es darauf, dass vorsorgendes Handeln so gestaltet werden muss, dass der einzelne Akteur nicht nur Richtungssicherheit hinsichtlich der eigenen Möglichkeiten hat, einen Beitrag zur Problemlösung zu leisten. Vielmehr muss dieses Handeln Innovationspotenziale freisetzen können, die seine eigenen, problemunabhängigen Ziele befördern. Nur mit einem solchen Ansatz kann der Übergang von der Problem- zur Lösungsperspektive langfristig gelingen.

Zitierte Literatur

- Deffner J, Götz K (im Gutachten für 2008): Handlungsoptionen für einen umweltfreundlicheren Umgang mit Arzneimitteln. UWSF – Z Umweltchem Ökotox
- Dürr M, Hollert H (2007): Arzneimittel in der Umwelt. Ein durch Unsicherheit und Nicht-Wissen gekennzeichnetes Problemfeld. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 19 (3) 154
- Kümmerer K, Schramm E (im Gutachten für 2008): Arzneimittelentwicklung: Die Reduzierung von Gewässerbelastungen durch gezieltes Moleküldesign. UWSF – Z Umweltchem Ökotox
- Püttmann W, Oehlmann J, Schulte-Oehlmann U (2008): Wassertechnische Strategien zur Reduzierung von Gewässerbelastungen durch Arzneimittelwirkstoffe. UWSF – Z Umweltchem Ökotox (akzeptiert für UWSF-August, DOI: <http://dx.doi.org/10.1065/uwsf2008.03.244>)

Wassertechnische Strategien zur Reduzierung von Gewässerbelastungen durch Arzneimittelwirkstoffe

Wilhelm Püttmann^{1*}, Florian Keil², Jörg Oehlmann³, Ulrike Schulte-Oehlmann³

¹ Johann Wolfgang Goethe-Universität, Institut für Atmosphäre und Umwelt, Abteilung Umweltanalytik, Altenhöferallee 1. 14, D-60438 Frankfurt/M.

² Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH, Hamburger Allee 45, D-60486 Frankfurt/M.

³ Johann Wolfgang Goethe-Universität, Institut für Ökologie, Evolution und Diversität, Abteilung Aquatische Ökotoxikologie, Siesmayerstrasse 70, D-60323 Frankfurt/M.

* Korrespondenzautor (puettmann@iau.uni-frankfurt.de)

Zusammenfassung

Ergebnisse der Studie. Der vorhandene Wissensstand bezüglich der Wirksamkeit innovativer Methoden der Abwasserbehandlung zur Eliminierung von Arzneimittelrückständen wird im vorliegenden Beitrag zusammengefasst. Das Ergebnis der Recherche zeigt, dass sich über eine Modifikation des Belebtschlammalters (aerober Klärschlamm) in den Kläranlagen auf 8–10 Tage die Abbaubarkeit einzelner, weniger persistenter Arzneimittelwirkstoffe verbessern lässt. Eine Verlängerung der Verweilzeit über 10 Tage hinaus führt dagegen bei den meisten Pharmakawirkstoffen zu keiner weiteren Steigerung des Abbaus. Für viele Arzneimittelwirkstoffe sind, bei gleichen Verweilzeiten des Klärschlammes in den Anlagen, die Abbauraten, die über Membran-Bioreaktoren (MBRs) bei der Behandlung von kommunalem Abwasser erreicht werden, mit denen konventioneller Verfahren vergleichbar. Die Aktivkohlefiltration wird zurzeit vorwiegend bei der Trinkwasseraufbereitung eingesetzt. Durch den Einsatz von Pulveraktivkohle, die biologisch gereinigtem Abwasser zugesetzt wurde, konnten Arzneimittelrückstände im Abwasserstrom um bis zu 80% verringert werden. In der Trinkwasseraufbereitung ebenfalls weit verbreitet ist die Ozonierung, die hier zunächst primär zur Desinfektion eingesetzt wird. In der Abwasserbehandlung befindet sich das Verfahren noch in der Erprobung. Die Photooxidation wird im Rahmen von Pilotprojekten zur Behandlung stark belasteter Abwässer geprüft. Bezüglich der Elimination von Arzneimittelwirkstoffen liegen für dieses Verfahren nur wenige Resultate aus Laborversuchen vor. Die Stoffstromseparation setzt auf eine Abwasserbeseitigung über dezentrale Konzepte mit Schließung von Stoffkreisläufen (Recycling) am Ort der Entstehung. Langfristig könnten Separationsmaßnahmen zu einer Minderung der Einträge von Pharmakawirkstoffen in die aquatische Umwelt beitragen. Bei der Gewinnung von Trinkwasser aus Oberflächenwasser und Uferfiltrat ist derzeit eine Aufbereitung über 'End-of-Pipe'-Techniken unverzichtbar. Zumeist werden Aktivkohle oder Aktivkohle in Kombination mit Ozonierung eingesetzt.

Diskussion der Ergebnisse. Die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen methodischen Verfahren betreffen unter anderem die Wirksamkeit im Hinblick auf besonders persistente Arzneimittelwirkstoffe, die Erzeugung problematischer Metabolite und zusätzlicher Abfallprodukte, hygienische Probleme, den Energiebedarf und die Notwendigkeit zum Einsatz von Fachpersonal beim Betrieb der Anlagen. Obwohl der biologische Abbau besonders langlebiger Arzneimittelwirkstoffe durch eine Erhöhung der Verweilzeit des Belebtschlammes in den Kläranlagen nicht signifikant gesteigert werden kann, sollte diese Modifikation in kommunalen Kläranlagen als relevante Maßnahme zur Verringerung der Konzentrationen von leicht abbaubaren Arzneimittelwirkstoffen berücksichtigt werden. Membran-Bioreaktoren bieten im Vergleich zur konventionellen Abwasserbehandlung den Vorteil einer besseren Kontrolle der biologischen Aktivität bei geringer Anlagengröße, erfordern aber höhere Investitions- und Betriebskosten. Zudem wird z.B. Carbamazepin von Membran-Bioreaktoren nur geringfügig aus dem Abwasser eliminiert. Der Einsatz von Pulveraktivkohle als fester Bestandteil der Abwasserbehandlung würde ebenfalls die Kosten der Abwasserbehandlung weiter erhöhen und für die Zukunft eine Verwertung der Klärschlämme in der Landwirtschaft ausschließen. Die Verwendung der Klärschlämme ist in Deutschland derzeit von regionalen Unterschieden geprägt und wird kontrovers diskutiert. Die Ozonierung als zusätzliche Komponente der Abwasserbehandlung zu fordern, ist zurzeit aus Kostengründen unrealistisch. Zudem führt die Ozonierung zur Bildung von Abbauprodukten, die analytisch bisher nicht erfasst werden und über deren Toxizität wenig bekannt ist. Deshalb sollte eine Ozonierung grundsätzlich nicht ohne nachfolgende Aktivkohlefiltration betrieben wer-

den. Die Photo-Oxidation als Bestandteil der Abwasserbehandlung befindet sich bei einigen Pilotprojekten in der Erprobung, so dass die Anwendung dieser Methode momentan nicht zur Debatte steht.

Bei der Gewinnung von Trinkwasser aus Oberflächenwasser und Uferfiltrat ist eine Aktivkohlefiltration u.a. aufgrund der Arzneimittelproblematik heute bereits weit verbreitet. Die Standzeiten der Filter orientieren sich aktuell an der Eliminationsleistung für Röntgenkontrastmittel (z.B. Amidotrizoesäure, Iopamidol). Die Ozonierung ist in vielen Wasserwerken, die Uferfiltrat verwenden, bereits der Aktivkohlefiltration vorgeschaltet und unterstützt die Eliminierung der meisten Arzneimittelwirkstoffe aus dem Rohwasser.

Das besondere Potential der Stoffstromseparation liegt in der Möglichkeit zur Kopplung mit nachhaltigen Techniken und Verwertungskonzepten (Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser, Produktion von Dünger, Kompost und Biogas am Ort der Entstehung). Separationsverfahren machen die Notwendigkeit des Einsatzes von 'Middle/End-of-Pipe'-Techniken in der Abwasserbehandlung und Trinkwasseraufbereitung zwar nicht verzichtbar, erlauben aber eine effektive Behandlung der separierten Stoffströme aufgrund der höheren Konzentration der Arzneimittelrückstände im Vergleich zu kommunalen Abwässern, die zudem bei Mischsystemen durch Oberflächenabfluss weiter verdünnt werden.

Schlussfolgerungen. Grundprinzip einer nachhaltigen Strategie zur Reduzierung von Gewässerbelastungen mit Arzneimittelwirkstoffen sollte es sein, möglichst an der Quelle der Stoffeinträge anzusetzen. Neben dezentralen oder semi-zentralen Systemlösungen sind in diesem Sinne auch Maßnahmen an den Kläranlagen in die Betrachtung einzubeziehen. Eine konkrete und möglicherweise auch standortabhängige Empfehlung für eine Maßnahme oder eine Kombination von Maßnahmen kann aber nur auf Basis einer vergleichenden Bewertung nach unterschiedlichen Kriterien wie Kosteneffizienz oder Akzeptanz bei den Betroffenen erfolgen. Wie die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, fehlt jedoch gegenwärtig im Bereich der Verfahren einer erweiterten Abwasserbehandlung die für eine solche Bewertung notwendige Datengrundlage. Da wegen des verbreiteten Einsatzes von Aktivkohlefiltration bei der Gewinnung von Trinkwasser aus Oberflächenwasser und Uferfiltrat eine akute Gefährdung der Trinkwasserqualität durch Arzneimittelwirkstoffe zurzeit nicht gegeben ist, besteht die Option zur Entwicklung nachhaltiger Lösungsstrategien.

Empfehlungen und Ausblick. Es ist davon auszugehen, dass im Abwasserbereich zeitnah Daten zur Verfügung stehen werden, die eine verfahrensmäßige Richtungssicherheit herstellen können (z.B. aus dem Pilotprojekt an der Kläranlage Ulm-Steinhäule). Für die Gestaltung einer nachhaltigen Lösungsstrategie sollte nach Vorliegen dieser Daten eine multikriterielle Bewertung der aktuell verfügbaren wassertechnischen Optionen durchgeführt werden.

Besondere Berücksichtigung sollte dabei die Einführung nachhaltiger Sanitärkonzepte etwa für Neubau-, Industrie- und Gewerbegebiete basierend auf einer separaten Erfassung von Abwasserteilströmen und einer Rückgewinnung von knappen Ressourcen (z.B. Phosphor) finden. Ebenso sollte die separate Erfassung und Behandlung der potenziell stärker mit problematischen Wirkstoffen (z.B. Antibiotika, Zytostatika) belasteten Abwässer von Krankenhäusern und anderen medizinischen Einrichtungen in die Betrachtung einbezogen werden.

Die in diesem Beitrag diskutierten wassertechnischen Maßnahmen, wie auch weiterführende Maßnahmen im Bereich des Arzneimitteleinsatzes und der Arzneimittelentwicklung, werden nur mittel- bis langfristig einen wirksamen Beitrag zur Problemlösung leisten können. Als Ergebnis einer umfassenden Bewertung ist daher zu prüfen, ob bis zur Entfaltung des vollen Potenzials nachhaltiger Strategien aus Gründen des Trinkwasserschutzes die Nachrüstung spezifischer Wassergewinnungsanlagen, die flussbürtiges Rohwasser aufbereiten, sinnvoll ist.

Handlungsoptionen für einen umweltfreundlichen Umgang mit Arzneimitteln

Jutta Deffner* und Konrad Götz

Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH, Hamburger Allee 45D, D-60486 Frankfurt/M.

* Korrespondenzautorin (deffner@isoe.de)

Zusammenfassung

Hintergrund. Gewässerbelastungen durch Arzneimittelwirkstoffe sind mittlerweile umfassend dokumentiert. Ebenso wurde in den vergangenen Jahren immer häufiger auch über das vereinzelte Vorkommen spezifischer Wirkstoffe im Trinkwasser berichtet. Haupteintragspfade für Humanpharmaka sind, durch die menschlichen Ausscheidungen und die unsachgemäße Entsorgung von Altarzneimitteln über die häuslichen Abwässer, die kommunalen Kläranlagen. Entsprechend dominieren bei der Diskussion um Strategien zur Eintragsreduktion bisher eher verfahrenstechnische Lösungsansätze. Untersuchungen, welche Beiträge auch im Bereich des Umgang mit Arzneimitteln geleistet werden können, fehlen dagegen bisher weitgehend.

Ziel. Die Verwendung von Arzneimitteln zum Zweck der Heilung, Linderung oder Vermeidung von Krankheiten ist für eine hohe Lebensqualität unverzichtbar. Dennoch bestehen auch in den Bereichen Verschreibung, Gebrauch und Entsorgung von Arzneimitteln Handlungsoptionen, die zu einer Reduktion des Eintrags von Wirkstoffen in den Wasserkreislauf beitragen können. Ziel der vorgestellten Studie war die systematische Erfassung von Möglichkeiten, den Arzneimittel Einsatz ohne Qualitätsverlust bei Therapie und Prävention umweltfreundlicher zu gestalten.

Material und Methoden. Neben Literaturstudien zum Ver- und Gebrauch sowie zur Entsorgung von Arzneimitteln und zum Arzt-Patientenverhältnis dienten qualitative sozialwissenschaftliche Interviews bzw. Gruppendiskussionen mit ÄrztInnen und ApothekerInnen dazu, Reaktionsmuster, Wissensstand und Möglichkeiten für ein verändertes Handeln zu explorieren. Weiterhin wurde eine bevölkerungsrepräsentative Studie zum Arzneimittelentsorgungsverhalten bundesdeutscher Haushalte durchgeführt (über deren Ergebnisse in dieser Zeitschrift bereits berichtet wurde).

Ergebnisse. Unter Einbeziehung dieser Informationen und Daten wurden auf unterschiedlichen strategischen Ebenen Handlungsoptionen erar-

beitet: 1. Maßnahmen zur Änderung umweltpolitischer Rahmenbedingungen (Etablierung des Umweltziels ‚Schutz der Gewässer vor Belastungen mit Arzneimittelwirkstoffen‘ und Umweltklassifikation von Arzneimitteln), 2. Kommunikationsmaßnahmen zur Schaffung eines Problembewusstseins bei professionellen Akteuren sowie 3. Maßnahmen zur Unterstützung und Erleichterung von Verhaltensänderungen (bezogen auf Arzneimittelgebrauch, Verschreibung, und Entsorgung).

Diskussion. Bei der Mehrzahl der diskutierten Handlungsoptionen lässt sich ein Beitrag zur Reduktion des Eintrags von Arzneimittelwirkstoffen in den Wasserkreislauf grundsätzlich nicht quantifizieren. Vielfach entstehen zunächst lediglich indirekte Wirkungen auf das Verschreibungs- und Nutzungsverhalten bei Arzneimitteln (z.B. kommunikative Maßnahmen, Umweltziele, Bewusstseinsbildung). Dennoch sind sie hinsichtlich einer Gesamtstrategie bedeutsam, da sie die Grundlage für einen veränderten Umgang mit Medikamenten und damit die Voraussetzung für die Einführung direkt wirksamer Maßnahmen überhaupt erst schaffen. Wie das Beispiel Entsorgung von Altarzneimitteln zeigt, verhindert jedoch das Fehlen wesentlicher Daten auch hier zumeist eine Quantifizierung der Wirksamkeit: Welchen Beitrag Maßnahmen zur Vermeidung einer unsachgemäßen Entsorgung über die häuslichen Abwässer leisten können, lässt sich angesichts fehlender Daten zu den jährlich in privaten Haushalten anfallenden Mengen an Altarzneimitteln gegenwärtig nur grob abschätzen. Kosten für die diskutierten Handlungsoptionen entstehen überwiegend durch PR-Kampagnen sowie für Fort- und Weiterbildungsprogramme.

Schlussfolgerungen/Ausblick. Ein Teil der Maßnahmen ist kurzfristig umsetzbar und auch unmittelbar wirksam, z.B. eine einheitliche Regelung zur Arzneimittelentsorgung. Andere Maßnahmen können in Zusammenhang mit ökonomisch ausgerichteten Änderungen des Gesundheitssystems gesehen werden, sodass Synergieeffekte entstehen, die zugleich auch eine Verminderung des Eintrags von Arzneimittelwirkstoffen in das Abwasser zur Folge haben (z.B. Gesundheitsprävention).

Arzneimittelentwicklung: Die Reduzierung von Gewässerbelastungen durch gezieltes Moleküldesign

Klaus Kümmerer^{1*} und Engelbert Schramm²

¹ Universitätsklinikum Freiburg, Sektion Angewandte Umweltforschung, Breisacher-Str. 115b, D-79106 Freiburg im Breisgau (klaus.kuemmerer@uniklinik-freiburg.de)

² Institut für sozial-ökologische Forschung, Hamburger Allee 45, D-60486 Frankfurt/M. (schramm@isoe.de)

* Korrespondenzautor

Zusammenfassung

Ergebnisse der Studie. In einer langfristigen Perspektive führen Innovationen, die sich an den Prinzipien einer nachhaltigen Pharmazie orientieren, zur Substitution problematischer Wirkstoffe durch solche, die sowohl auf Wirksamkeit beim Menschen als auch auf möglichst gute Abbaubarkeit in der Umwelt optimiert sind. Dies kann zu einem deutlichen Rückgang der Gewässerbelastungen durch Arzneimittelwirkstoffe führen. Der vorhandene Wissensstand hinsichtlich von Maßnahmen, mit denen sich derartige Innovationen und ein verbesserter Zustand der Gewässer erreichen lassen, wird im vorliegenden Beitrag zusammengefasst.

Diskussion. Durch entsprechende Forschungsförderung und veränderte Hochschulausbildung lässt sich die Anwendung gezielten Moleküldesigns in der pharmazeutischen Wissenschaft und Industrie verankern. An Beispielen wird gezeigt, dass ein erster Schritt darin bestehen kann, als wirksam bekannte Strukturen (Leitstrukturen), die auch bereits synthetisierte Wirkstoffe umfassen können, gezielt in Richtung gute Abbaubarkeit zu modifizieren. Durch eine Liste eva-

luierter und erfolgreich etablierter Fallbeispiele kann die grundsätzliche Machbarkeit des Ansatzes überzeugend demonstriert werden. Auf dieser Basis kann dann insbesondere bei einer Veränderung politischer Rahmenbedingungen in einer zweiten Phase der Ansatz auch bei der Neuentwicklung von Wirkstoffen systematisch zum Tragen kommen. Mit PR-Maßnahmen kann die rasche Durchsetzung der Innovationen auf dem Pharma-Markt und damit eine beschleunigte Umweltentlastung unterstützt werden.

Schlussfolgerungen. Es besteht die Option zur Entwicklung nachhaltiger Lösungsansätze, die eine Transformation der Pharmaindustrie in Richtung nachhaltiger Entwicklung befördern. Diese werden aufgrund der wesentlich höheren Abbaubarkeit dazu führen, die Emissionslast von Arzneimittelwirkstoffen ins Abwasser und in der Folge auch die Einträge in die Umwelt erheblich zu reduzieren bei gleichzeitig weiterer Verbesserung der pharmazeutisch relevanten Eigenschaften.

Empfehlungen und Ausblick. Der vorgeschlagene Strategieansatz kann allgemein auf umweltrelevante Chemikalien und nicht nur auf Arzneimittel bezogen werden.