



**Nationales Forschungsprogramm
«Hormonaktive Stoffe»**

Öffentlicher Schlussbericht
(Juni 2008)



FONDS NATIONAL SUISSE
SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS
FONDO NAZIONALE SVIZZERO
SWISS NATIONAL SCIENCE FOUNDATION

Hormonaktive Stoffe: Ein Risiko für Mensch und Umwelt?

Zusammenfassender Bericht des Nationalen Forschungsprogramms 50 ‚Hormonaktive Stoffe: Bedeutung für Menschen, Tiere und Ökosysteme‘ (Juni 2008)

Stoffe mit hormoneller Aktivität können Menschen, Tiere und ganze Ökosysteme auf verschiedene Arten schädigen. Beim Menschen werden sie mit Entwicklungsstörungen im Mutterleib, sinkender Fruchtbarkeit sowie Brust-, Hoden- und Prostatakrebs in Verbindung gebracht. Nachgewiesen sind Fruchtbarkeitsstörungen wegen hormonaktiver Stoffe bei vielen Tierarten, vom Fisch bis zu Säugtieren im Meer und auf dem Land.

Das Auftreten von hormonaktiven Stoffen in der Biosphäre hat weltweit gesundheits- und umweltpolitische Bedenken ausgelöst. Hormonaktive Stoffe stören die physiologischen Funktionen der körpereigenen Hormone von Mensch und Tier. Dabei zeigen sie eine völlig neue Form der Aktivität, die lange Zeit in konventionellen toxikologischen Analysen nicht entdeckt wurde. Ein 1999 vom damaligen Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (heute Bundesamt für Umwelt, BAFU) veröffentlichter Bericht kam zum Schluss, dass solche Chemikalien auch in der Schweiz bereits Spuren hinterlassen haben und als Ursache für Veränderungen in Wildtierpopulationen in Betracht gezogen werden müssen.

‚Tarnkappen-Chemikalien‘

Hormonaktive Stoffe schalten sich gemäss heutiger Kenntnis auf zwei Arten in den Hormonhaushalt ein: Gewisse Stoffe können an die Hormonrezeptoren in den Körperzellen andocken. Dort imitieren sie entweder die Wirkung eines Hormons oder sie blockieren den Rezeptor. Andere hormonaktive Substanzen stören den Transport oder den Auf- und Abbau von Hormonen im Körper.

Hormonaktive Stoffe können als ‚Tarnkappen‘-Chemikalien bezeichnet werden. Sie unterlaufen den ‚Radar‘ der allgemeinen toxikologischen Sicherheitsprüfungen chemischer Substanzen. Der Ausdruck ‚Tarnkappen‘-Chemikalien lässt sich wie folgt illustrieren:

- i) Derartige Chemikalien können in Konzentrationen wirken, die mehrere Grössenordnungen unterhalb der Schwelle der konventionellen Toxizität liegen.
- ii) Gewisse hormonaktive Stoffe wirken besonders schädlich im jenem engen Zeitfenster, in dem die embryonale, fötale und nachgeburtliche Entwicklung stattfindet. Ausserhalb dieses kritischen Zeitfensters reagiert der Organismus weniger sensitiv auf diese Substanzen, selbst wenn deren Konzentration viel höher liegt.
- iii) Die Wirkung verschiedener hormonaktiver Stoffe addiert sich auf, wenn sie auf den gleichen Rezeptor wirken. Dadurch können diese in Mischungen wirkungsrelevante Konzentrationen erreichen, selbst wenn die Konzentrationen der Einzelstoffe nicht wirksam sind.
- iv) Hormonaktive Stoffe können nicht-genetische Änderungen in einem Organismus hervorrufen, die sich vererben und noch in späteren Generationen Auswirkungen haben. So hat eine kürzlich durchgeführte Studie an Ratten Effekte in Nachkommen bis zur vierten Generation nachgewiesen, wenn die Mutter im kritischen Zeitfenster mit hormonaktiven Stoffen in Berührung gekommen ist. Diese Entdeckung begründet einen Paradigmenwechsel in der Biologie und der Toxikologie.

Der hormonellen Aktivität verdächtigt werden verschiedenste, z.T. sehr gebräuchliche Chemikalien: Weichmacher, Insektizide, Unkrautvernichtungsmittel, Verbrennungsprodukte, Flammenschutzmittel, Medikamente, Inhaltsstoffe von Kosmetika aber auch pflanzliche Produkte.

Das Nationale Forschungsprogramm 50 ‚Hormonaktive Stoffe‘

(www.nrp50.ch)

Im Jahr 2000 beauftragte der Bundesrat den Schweizerischen Nationalfonds mit der Durchführung des Nationalen Forschungsprogramms 50 ‚Hormonaktive Stoffe: Bedeutung für Menschen, Tier und Ökosysteme‘. In diesem Forschungsprogramm, das mit 15 Millionen Schweizer Franken dotiert war, sollten Strategien zur Beurteilung der Risiken und Gefahren der Belastung von Menschen und Tieren durch hormonaktive Stoffe in Ökosystemen entwickelt werden. Die wichtigsten Fragen lauteten:

- Wie hoch ist die Belastung von Menschen, Nutztieren, wildlebenden Tieren und der Umwelt in der Schweiz?
- Mit welchen Methoden und Modellen können Wirkungen dieser Stoffe erkannt werden?
- Welches sind die Gefahren und Risiken für die Gesundheit von Menschen und Tieren sowie für die Erhaltung der Artenvielfalt?
- Welche Massnahmen sind notwendig für den Schutz der Menschen und der Umwelt?

Die Forschungsarbeiten im Rahmen des NFP 50 begannen 2002 und wurden Ende 2007 abgeschlossen. In drei Staffeln genehmigte die international zusammengesetzte Leitungsgruppe insgesamt 31 wissenschaftliche Projekte. Weiter wurden auf der Basis der Forschungsergebnisse gemeinsam mit Behörden und Industrie in drei Konsensplattformen Empfehlungen ausgearbeitet, die mithelfen sollen, negative Folgen hormonaktiver Chemikalien zu vermeiden.

Resultate in der Übersicht

(Schlusskurzberichte der Projekte siehe unter <http://www.nrp50.ch/publications/final-summaries.html>)

Das Nationale Forschungsprogramm ‚Hormonaktive Stoffe‘ hat eine Reihe von bedeutenden wissenschaftlichen Resultaten hervorgebracht:

1. Identifikation gewisser Chemikalien und Chemikaliengruppen als potenziell hormonaktive Stoffe (beispielsweise verschiedene UV Filter, bromierte Flammenschutzmittel)
2. Entdeckung neuer Wirkmechanismen und bisher unbekannter Wechselwirkungen zwischen hormonaktiven Stoffen und verschiedenen Rezeptoren (z.B. Corticoidrezeptor)
3. Identifikation neuer potenzieller Aufnahmewege für hormonaktive Stoffe (z.B. Muttermilch, Haut) und der Wirkung beim Menschen
4. Entwicklung neuer Nachweismethoden für hormonaktiver Stoffe und Modellieretechniken zur Wirkungsabschätzung (Zebrafisch als Biosensor, Elektrospray-Massenspektrometrie, In-silico-Methode zur Vorhersage von Struktur-Wirkungsbeziehungen)
5. Daten zur Belastung von Gewässern mit hormonaktiven Stoffen
6. Identifikation von ‚Hot Spots‘ in der Umwelt und Stoffflussanalysen wichtiger hormonaktiver Substanzen als Grundlage für die Risikobeurteilung
7. Flächendeckende Daten zur Spermienqualität bei jungen Schweizer Männern (Zwischenresultate)

Neue hormonaktive Stoffe und deren Wirkung

Verschiedene UV Filter wie beispielsweise 4-Methyl-benzyliden-campher (4-MBC) oder 3-Benzyliden-campher (3-BC) zeigen östrogene Aktivität. Auch wurden Wirkungen auf die Schilddrüse beobachtet. 4-MBC und 3-BC beeinflussen das Wachstum der reproduktiven Organe (Prostata, Hoden, Uterus) in Ratten, die mit diesen Stoffen in Berührung kamen. Das Sexualverhalten der Nachkommen wird ebenfalls gestört. Der Mensch nimmt UV-Filter in geringsten Mengen durch die Haut (Sonnenschutzmittel, Kosmetika) oder oral (beispielsweise bei Verwendung von Lippenstiften) auf.

Bromierte Flammschutzmittel werden in grossen Mengen in den verschiedensten Textilien und brandgefährdeten Alltagsgegenständen eingesetzt. So beträgt beispielsweise allein der Verbrauch von DecaBDE in der Schweiz jährlich rund 200 Tonnen. Ein Grossteil dieser Stoffe ist in Materialien und Geräten gebunden, bis diese entsorgt werden. So hat sich in den letzten rund 10 Jahren der Gehalt an DecaBDE im Klärschlamm von Abwasserreinigungsanlagen verfünffacht. Bromierte Flammschutzmittel sind ebenfalls in Gewässern, im Haus- und Bürostaub nachgewiesen worden. Das Aufnahmeverhalten ist wohl eine wichtige Eintragsquelle in den menschlichen Körper, besonders bei Kindern. Einige bromierte Flammschutzmittel sowie deren Abbauprodukte wirken nachgewiesenermassen hormonaktiv, anderen stehen zumindest im Verdacht, solche Wirkung zu haben.

Wechselwirkungen mit Rezeptoren und Wirkmechanismen

In einem Projekt ist der Nachweis gelungen, dass in der Umwelt vorhandene hormonaktive Stoffe nicht nur die Wirkung von Sexualhormonen nachahmen können, sondern auch andere Rezeptorsysteme, so etwa die Glucocorticoid- und Mineralocorticoid-Rezeptoren, beeinflussen und so auf weitere Regelkreise einwirken. Es wäre deshalb falsch, sich bei der Überwachung in Verdacht stehender Chemikalien einzig auf die östrogene Wirkung zu beschränken.

Mischungen hormonaktiver Stoffe wirken additiv und können Effekte auslösen, selbst wenn die Einzelkomponenten für sich in Konzentrationen vorliegen, die unwirksam sind. Die Wirkungen der Einzelkomponenten addieren sich auf und verändern das durch natürliche Hormone gesteuerte Muster der im Körper exprimierten Gene.

Bei der Untersuchung molekularer Mechanismen der Wirkung hormonaktiver Stoffe stiessen Wissenschaftler auf PPAR, ein Sensorsystem in der Zelle, das unzählige Einflüsse von aussen verarbeitet und die Expression vieler Gene beeinflussen kann. Diese Entdeckung eröffnet neue Wege für die Erkennung von hormonaktiven Wirkungen und deren Beeinflussung.

Beim Fisch Zebrafisch (*Danio rerio*) wurden die Wirkmechanismen und Wirkungspfade östrogenen Stoffe untersucht. Die Resultate liefern Grundlagen für die Entwicklung neuer sensibler Tests in der Ökotoxikologie.

Analyse der Aufnahmewege und Wirkung beim Menschen

Besonders empfindlich für den Einfluss hormonaktiver Stoffe sind beim Menschen die embryonale und die frühkindliche Phase, in denen die Entwicklung und spätere Funktion von Organanlagen beeinträchtigt werden können.

Zum ersten Mal wurde in der Schweiz menschliche Muttermilch auf die Belastung mit UV-Filtern untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass über 75% der Proben diese Substanzen enthielten. Diese

stammen aus Sonnenschutzmitteln oder kosmetischen Produkten. Der höchste festgestellte Wert lag einen Faktor 11 unter der Konzentration, die erste Wirkungen auslöst. Behördliche Massnahmen streben jeweils einen Sicherheitsfaktor von 100 an.

Auch natürliche Produkte wie etwa Soja enthalten hormonaktive Stoffe. Tierversuche haben gezeigt, dass bei einer einseitigen Ernährung mit Sojaprodukten der Stoffwechsel beeinflusst wird.

Erste Ergebnisse amerikanischer Forscher deuten drauf hin, dass hormonaktive Substanzen auch Stoffwechselkrankheiten (z.B. Diabetes) und Fettleibigkeit auslösen könnten. Wie Tierversuche zeigen, besteht die Möglichkeit, dass auch diese Wirkung über eine Beeinflussung der embryonalen Entwicklung zustande kommt.

Entwicklung von Nachweismethoden und Modellieretechniken

Für das Screening einer grossen Anzahl von Proben auf deren hormonaktive Wirkung sind rasche und gleichzeitig sensitive analytische Werkzeuge gefragt. Diese müssen das Rezeptorprotein und die Bindung verschiedener hormonaktiver Stoffe an dieses Protein nachweisbar machen. Dazu wurden zwei massenspektrometrische Methoden entwickelt.

Im Rahmen des Programms wurde eine neuartige *in vitro*-Methode erarbeitet, mit der sich die Wirkung verschiedenster Proben (von der Muttermilch bis zu Proben aus der Umwelt) auf die Aktivierung ausgewählter östrogenabhängiger Gene in kurzer Zeit erfassen lässt.

Mit VirtualToxLab ist ein auf dem Internet frei zugängliches Werkzeug für die Vorhersage des toxischen Potenzials von hormonaktiven Stoffen entstanden. Es erlaubt die Abschätzung der Bindung von hormonaktiven Stoffen an elf verschiedene Rezeptor-Proteine. VirtualToxLab stellt den Komplex in dreidimensionalen Bildern dar.

Belastung von Ökosystemen

UV Filter sind auch in Oberflächengewässern und in Fischen nachgewiesen worden. Wie Laboruntersuchungen an Fischen gezeigt haben, beeinflussen 3-BC und Benzophenon-2 (BP2) die Reproduktionsfähigkeit negativ. Mischungen östrogenen UV-Filter wirken additiv oder sogar synergistisch und führen zu einer Entmännlichung bei Fischen bereits in tiefen Mischungskonzentrationen. Mit Ausnahme von 3-BC lassen die Untersuchungen auf ein eher geringes Risiko für Fische und Daphnien durch einzelne UV-Filter schliessen.

Auch bromierte Flammschutzmittel sind in der Umwelt nachweisbar: Sie wurden in See- und Flussfischen, in Gewässern, im Schlamm von Kläranlagen und sogar in Füchsen gefunden, die in der Stadt Zürich heimisch geworden sind.

Die Substanzgruppe der Nonylphenoethoxylate (ehemals in Wasch- und Reinigungsmitteln verbreitet eingesetzte Zusatzstoffe) weist ein ungewöhnliches Abbauverhalten in Kläranlagen und Wasser auf, was zu einer Fülle von verschiedenen Abbauprodukten mit unterschiedlichem östrogenen Potenzial führt. Obwohl diese Stoffe in der Schweiz nicht mehr eingesetzt werden, tragen ihre Metaboliten weiterhin zur östrogenen Aktivität in den Gewässern bei.

Die östrogene Aktivität von Kläranlagenausläufen variiert sehr stark, sowohl von Standort zu Standort, als auch im zeitlichen Verlauf. In 18 Schweizer Mittellandflüssen, in die auch Kläranlagenwasser fliesst, wurde die östrogene Belastung von männlichen Forellen untersucht. Sie weisen allgemein eine eher tiefe östrogene Belastung auf. Erhöhte Werte wurden einzig an bestimmten lokalen ‚Hot Spots‘

unterhalb von Kläranlagen gefunden, allgemein war die Belastung eher tief. Eine Beeinflussung der Forellenpopulationen durch hormonaktive Stoffe scheint unwahrscheinlich.

Felchen im Thunersee weisen ein ungewöhnlich hohes Vorkommen an Gonadenmissbildungen auf. Wie eingehende Untersuchungen gezeigt haben, sind dafür weder Chemikalien aus Altmunitionsdepots der Armee auf dem Seegrund noch aus der NEAT-Baustelle verantwortlich. Ein Plankton aus dem Thunersee, die Nahrungsgrundlage der Fische, scheint diese Missbildungen zu fördern. Im Gegensatz zur ursprünglichen Meinung haben diese jedoch keinen merklichen Einfluss auf die Fortpflanzung der Fische.

Die Untersuchung und die Vorhersage von Stoffflüssen aus Produktion und Anwendung in die Umwelt erlauben die Vorhersage der Belastungssituation verschiedener hormonaktiver Stoffe und Stoffgruppen. Dabei hat sich gezeigt, dass bei den bromierten Flammschutzmitteln die Emissionen in die Luft wohl bisher unterschätzt wurden. Deren grösste Mengen befinden sich derzeit gebunden in verschiedensten Materialien. Deshalb wird die Belastung der Umwelt wird auch noch Jahre nach einem allfälligen Verbot von Stoffen weiter bestehen bleiben.

Durch die Verwendung von spurenanalytischen Methoden wurden UV-Filter in schweizerischen Gewässern und in der aquatischen Nahrungskette in tiefen Konzentrationen nachgewiesen. So stellen hormonaktive Einzelsubstanzen meist ein geringes Risiko für die Gewässer dar. Da diese Stoffe aber in Mischungen additiv wirken, können Effekte auf Fische – wie etwa die Induktion des Eidotterproteins Vitellogenin in männlichen Fischen – vorkommen. Weitere Modellrechnungen bestätigen diesen Befund: UV-Filter und Bisphenol-A stellen in ihrer jetzigen Konzentration für die östrogene Belastung der aquatischen Umwelt verglichen mit natürlichen und synthetischen Steroidhormonen ein untergeordnetes Problem dar. Hingegen wurden gewisse ‚Hot Spots‘ identifiziert, so etwa die ARA-Ausflüsse in dicht besiedelten und stark industrialisierten Gebieten. Ebenso kommt es zu erhöhten Konzentrationen, wenn durch starke Regenfälle das Oberflächenwasser ungeklärt in die Flüsse gelangt.

Spermienqualität in der Schweiz

Wie Zwischenresultate der Untersuchung der Spermienqualität bei stellungspflichtigen Schweizer Männern zeigen, liegt die Hälfte der bisher untersuchten 800 Freiwilligen zumindest bei einem Messwert ausserhalb der Vergleichsnorm der Weltgesundheitsorganisation WHO. Bestimmt wurden die Anzahl Spermien, deren Beweglichkeit und die Geschwindigkeit. Dieses Ergebnis ist bedenklich. Die Gründe dafür liegen derzeit jedoch noch im Dunklen. Gewisse regionale Unterschiede lassen sich erst erhärten, wenn die notwendige Anzahl von 3000 Proben untersucht ist.

Empfehlungen aus den Konsensplattformen

(Schlussberichte aller Konsensplattformen siehe unter <http://www.nrp50.ch/consensus-platforms.html>)

Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms 'Hormonaktive Stoffe' wurden drei Konsensplattformen unter Beteiligung von Forschenden aus dem Programm sowie Repräsentanten der Behörden sowie der produzierenden und der anwendenden Industrie durchgeführt. Zwei davon hatten Substanzgruppen zum Inhalt (UV-Filter in Sonnenschutzmitteln und Bromierte Flammschutzmittel), eine das Medium Wasser (Hormonaktive Stoffe in Abwasser und Gewässern). Mit der gemeinsamen Erarbeitung von wirkungs- und massnahmenbezogenen Aussagen auf der Basis des heutigen Wissensstandes haben alle an der Plattform beteiligten Partner ihren Willen zum konstruktiven Dialog bekundet und damit einen wertvollen Beitrag zur Vermeidung von negativen Auswirkungen von möglicherweise hormonaktiven Chemikalien geleistet.

Allgemeine Resultate der Konsensplattformen

Generell waren sich die Mitglieder aller Konsensplattformen einig, dass es Chemikalien gibt, die die Hormonsysteme von Organismen, einschliesslich des Menschen, beeinflussen. Dabei gibt es eine wissenschaftlich bestätigte Verbindung zwischen dem Auftreten von hormonaktiven Stoffen in Ökosystemen und gewissen nachteiligen Effekten auf wildlebende Tiere. Hormonaktive Wirkungen wurden bei Fischen festgestellt, die dem Ausflusswasser von biomechanischen Abwasserreinigungsanlagen ausgesetzt waren. Menschen sind hormonaktiven Stoffen in vielfältiger Form ausgesetzt. Derartige Chemikalien sind in menschlichem Gewebe und in der Muttermilch nachgewiesen worden, so dass sicher ist, dass Menschen bereits in ihren frühen Lebensphasen in Kontakt mit diesen Substanzen kommen. Beachtet man das Gefahrenpotenzial von hormonaktiven Stoffen, gehen die Mitglieder der Konsensplattformen einig, dass wissenschaftliche Unsicherheit nicht als Argument dienen darf, um risikoreduzierende Massnahmen zu verhindern. Die Probleme, die mit diesen Substanzen verbunden sind, machen eine Langzeitüberwachung und weitere Forschungsprojekte nötig.

Spezifische Empfehlungen der Konsensplattform 'UV Filter in Sonnenschutzmitteln'

Es ist unstrittig, dass der ungeschützte Kontakt mit Sonnenlicht verschiedene Hautkrankheiten auslösen kann und deshalb als Gesundheitsrisiko betrachtet werden muss. Deshalb sind Konsumentinnen und Konsumenten darüber zu informieren, wie sie sich bei Sonnenstrahlung zu verhalten haben und sich vor dessen Wirkung schützen können. Die wichtigsten Massnahmen sind der Aufenthalt im Schatten, das Tragen von zweckmässiger Kleidung und der Gebrauch von Sonnenschutzmitteln.

Laborversuche haben gezeigt, dass gewisse UV-Filter bei Säugern und Fischen hormonaktiv wirken. UV Filter wurden in Ökosystemen, Fischen und in der Muttermilch nachgewiesen. Es ist deshalb notwendig, das Nutzen/Risiko-Verhältnis von Sonnenschutzmitteln unter Berücksichtigung der neuesten wissenschaftlichen Resultate zu beurteilen: der Nutzen des Schutzes vor Hautschädigungen verglichen mit den schädlichen hormonaktiven Wirkungen gewisser UV-Filter.

Die Analyse des Risikos von UV-Filtern für den Menschen benötigt weitere Daten:

- Daten zur Häufigkeit und eingesetzten Menge von Sonnenschutzmitteln, besonders bei gebärfähigen Frauen und bei Kindern

- Daten zu den Konzentrationen in der Umwelt, der Aufnahmefähigkeit durch die Haut, die ‚interne Belastung‘ (Blut, Muttermilch) sowie zur Reproduktions- und Entwicklungstoxizität
- Daten über den Verbleib und das Schicksal von UV-Filtern in der Umwelt

Es wird empfohlen, dass das Bundesamt für Umwelt Verbote von UV-Filtern aufgrund von wissenschaftlich fundierten Risikobeurteilungen prüft und allenfalls eine entsprechende Vorlage erarbeitet. Die Ersetzbarkeit der für ein Verbot vorgeschlagenen UV-Filter wird dabei berücksichtigt, ebenso die Beurteilungen und Regulierungen in der EU.

Es wird empfohlen, dass das Bundesamt für Gesundheit ein Verbot gesundheitsgefährdender UV-Filter aufgrund einer wissenschaftlich fundierten Risikobeurteilung prüft und gegebenenfalls die Verordnung über kosmetische Mittel unter Berücksichtigung der Beurteilungen und Regulierungen in der EU anpasst. Das gesundheitliche Risiko, das sich durch 4-Methyl-benzyliden-campher (4-MBC) in Sonnenschutzmitteln für den Konsumenten ergibt, ist abschliessend zu bewerten.

Im Rahmen der gesetzlich vorgeschriebenen Selbstkontrolle muss die Industrie dafür besorgt sein, dass die UV-Filter keine negativen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt haben. Den Herstellern von UV-Filtern wird empfohlen, die Selbstkontrolle ihrer UV-Filter im Lichte neuer Forschungsergebnisse aus dem In- und Ausland zu überarbeiten und den Behörden vorzulegen. Hersteller von UV-Filtern und Sonnenschutzmitteln nehmen ihre Selbstverantwortung wahr, indem sie die neuesten allgemein akzeptierten wissenschaftlichen Erkenntnisse betreffend hormonaktiver Wirkung von UV-Filtern in der Sicherheitsbewertung ihrer Produkte berücksichtigen. Die technologischen Möglichkeiten zur Reduktion der Konzentrationen an chemischen UV-Filtern in Sonnenschutzpräparaten bei gleicher Schutzwirkung sind durch die Industrie weiter zu entwickeln resp. optimal zu nutzen. Die Industrie unterstützt die Weiterentwicklung neuartiger UV-Filter mit geringem toxikologischem Risikopotential. Die formulierende Industrie prüft, ob sie in Sonnenschutzmitteln auf die Verwendung von 4-MBC freiwillig verzichten kann.

Spezifische Empfehlungen der Konsensplattform ‚Bromierte Flammschutzmittel‘

Die Wirksamkeit von bromierten Flammschutzmitteln im Brandschutz von Materialien – hauptsächlich Kunststoff und Textilien – ist unbestritten. Ihren vorteilhaften Eigenschaften im Brandschutz von elektrischen und elektronischen Geräten, Transportmitteln und im Bauwesen stehen aber mögliche Risiken gegenüber. Hauptvertreter dieser in grossen Tonnagen eingesetzten Stoffgruppe sind heute der polybromierte Diphenylether DecaBDE sowie Hexabromcyclododecan (HBCD) und Tetrabrombisphenol A (TBBPA).

Einige bromierte Flammschutzmittel weisen nachgewiesenermassen hormonaktive Wirkung auf. Für das seit 2004 verbotene PentaBDE wurden antiandrogene und oestrogene Wirkungen und Störungen des Schilddrüsenhormonsystems festgestellt. TBBPA und HBCD gelten nach aktuellem Kenntnisstand als potenziell hormonaktive Chemikalien.

Die mit diesen Stoffen einhergehenden Probleme erfordern langfristige Überwachungs- und Forschungsprojekte. Ebenso ist der Informationsstand über den Lebenszyklus bromierter Flammschutzmittel zu verbessern. Die Erforschung von Alternativen zu in der Umwelt persistenten bromierten Flammschutzmitteln muss gefördert werden.

Bromierte Flammschutzmittel können vom Menschen durch die Nahrung, aber auch via Hausstaub und Innenraumluft aufgenommen werden. Arbeitnehmende im Bereich der Entsorgung und des Recyclings von Elektroschrott sind durch ihre berufliche Tätigkeit in erhöhtem Masse diesen Stoffen ausgesetzt. Bei ihnen ist abzuklären, wo die stärksten Expositionen auftreten und ob Handlungsbedarf zu

deren Verminderung besteht. Die verarbeitende Industrie und die Entsorgungsbranche sollten gemeinsam untersuchen, ob in der Schweiz Quellen mit relevanten Frachten an bromierten Flammschutzmitteln existieren, und bei Bedarf emissionsmindernde Massnahmen treffen.

Das als Copolymer gebundene TBBPA (z.B. Epoxyharze in Leiterplatten) wird nach heutigem Kenntnisstand in der Anwendungsphase als unbedenklich angesehen. Hingegen sollte die Industrie im Rahmen ihrer Selbstverantwortung prüfen, in welchen Anwendungsbereichen sich DecaBDE und HBCD durch andere Flammschutzsysteme mit günstigerem Risikoprofil ersetzen lassen.

Die Behörden prüfen aufgrund von wissenschaftlich fundierten Risikobeurteilungen weitere Einschränkungen oder Verbote von persistenten und hormonaktiven bromierten Flammschutzmitteln. Dabei werden Regelungen der EU und die Verfügbarkeit von gleichwertig untersuchten Ersatzstoffen berücksichtigt.

Spezifische Empfehlungen der Konsensplattform ‚Hormonaktive Stoffe in Abwasser und Gewässern‘

Hormonaktive Stoffe in Gewässern können in der Schweiz lokal und regional ein Problem darstellen, insbesondere dann, wenn eine ausreichende Verdünnung des gereinigten Abwassers im Vorfluter (1:10 oder mehr) dauerhaft oder saisonal nicht gewährleistet ist (Regionen mit hoher Einwohnerdichte; Kläranlagen, die in kleine Fließgewässer einleiten). Im gereinigten häuslichen Abwasser sind natürliche und synthetische Steroidhormone verantwortlich für den grössten Teil der östrogenen Aktivität. In einer Minderheit der bisher untersuchten Schweizer Gewässer wurden leicht bis moderat erhöhte östrogene Aktivität bei männlichen Fischen im Einflussbereich von Kläranlagen gemessen, was auf eine lokale bis regionale Belastung der Gewässer mit östrogenen Stoffen schliessen lässt. Ansonsten gibt es wenig Indizien auf die Wirkung hormonaktiver Stoffe in Schweizer Oberflächengewässer.

Es gibt bisher keine Hinweise, dass das hohe Vorkommen von Gonadenmissbildungen bei Felchen im Thunersee auf hormonaktive Stoffe zurückzuführen ist.

Es kann davon ausgegangen werden, dass im Allgemeinen die übers Trinkwasser aufgenommenen hormonaktiven Stoffe für die menschliche Gesundheit auch in der Schweiz nicht als kritisch einzustufen sind. Punktuell höhere Belastungen von Grund- und Trinkwasser müssen fallspezifisch beurteilt werden.

Das Umweltverhalten von Mikroverunreinigungen, zu denen hormonaktive Stoffe gehören, ist genauer zu untersuchen. Dabei sind in der Schweiz Stoffflüsse hormonaktiver Stoffe systematisch zu analysieren und zu modellieren, um relevante Expositionen zu erkennen. Daraus lassen sich auf Grund wissenschaftlich fundierter Risikoanalysen wirkungsbezogene Massnahmen ableiten. Fische und andere aquatische Lebewesen sind auf die biologische Wirkung der Umweltbelastung zu untersuchen.

Da östrogene Steroidhormone als hauptverantwortlich für allfällige östrogene Effekte bei aquatischen Lebewesen anzusehen sind, ist die Einführung eines Qualitätsziels für die östrogene Aktivität in Gewässern sehr wichtig. Dies gilt insbesondere für empfindliche Fließgewässer, die durch Kläranlagen beeinflusst sind, deren gereinigtes Abwasser schlecht verdünnt wird.

Der Ausbaustand der Kläranlagen sollte eine möglichst weitgehende Elimination der Abwasserinhaltsstoffe ermöglichen. Ein optimaler Betrieb muss gewährleistet sein. Vor allem bei ungenügender Verdünnung des gereinigten Abwassers im Gewässer können Probleme durch Mikroverunreinigungen auftreten. In solchen Fällen sollten folgende Massnahmen geprüft werden: Ausbau gemäss Stand der

heutigen Technik, weitergehende technische Massnahmen (Aktivkohle, Ozonierung, Erhöhung des Schlammalters etc.) und/oder alternative Vorgehensweisen, wie beispielsweise der Zusammenschluss von Abwasserverbundsystemen zur Ermöglichung leistungsfähiger Kläranlagen.

Der Verordnung und Umsetzung von Massnahmen in der Siedlungsentwässerung soll eine gesamtheitliche Strategie und Planung vorausgehen. Ebenso sind diejenigen Massnahmen zu identifizieren, die zu wirtschaftlich tragbaren Kosten den optimalen Nutzen für die Gewässer darstellen (inklusive Massnahmen in der Landwirtschaft, Renaturierung u.a.). Weiter müssen Massnahmen zur Optimierung der Regenwasser- und Kanalnetzbewirtschaftung (Entlastungen, Verluste durch Undichtigkeit) beurteilt werden. Die Kläranlagen in der Schweiz sind hinsichtlich ihrer Eliminationsleistung und ihres technischen Optimierungspotenzials zu überprüfen.

Die angestrebten Massnahmen bei Kläranlagen reduzieren neben hormonaktiven Stoffen auch den Eintrag von anderen gewässerrelevanten (nicht hormonaktiven) Stoffen. Massnahmen an der Quelle wie beispielsweise alternative Systeme der Siedlungsentwässerung oder der Spitalabwasserbehandlung müssen beurteilt und allenfalls gefördert werden.

Eine standortgerechte Bewirtschaftung von Landwirtschaftsflächen ist anzustreben, da so der Eintrag hormonaktiver und anderer Stoffe über oberflächliche Abschwemmung und Drainage eingeschränkt wird.

Die Industrie ist ihrerseits bestrebt, Stoffe mit einem signifikanten toxikologischen oder ökotoxikologischen Risiko durch solche mit geringerem Risiko zu ersetzen. Voraussetzung hierfür ist, dass die Ersatzprodukte einer ebenso gründlichen Risikobeurteilung unterzogen werden wie die zu ersetzenden Stoffe selbst.

Die rasche Entwicklung von international (OECD) anerkannten Verfahren zum Nachweis hormonaktiver Eigenschaften von Chemikalien und Gemischen muss gefördert werden. Das gleiche gilt für Testverfahren zur Priorisierung von Mikroverunreinigungen und zur Überwachung der Gewässerqualität. Für die Praxis ist die Etablierung von wissenschaftlich fundierten Qualitätskriterien für die Hormonaktivität in Gewässern anzustreben: ein chronisches Qualitätskriterium (CQC) für die Dauerbelastung und ein akutes Qualitätskriterium (AQC) für kurzfristige Spitzenbelastungen. Es wird empfohlen, die Gewässerschutzverordnung mit diesen Qualitätskriterien zu ergänzen.